

Nuutti Santaniemi

ASKELTEN JA KULJETUN MATKAN MÄÄRITTÄMINEN KÄVE- LYSSÄ JA JUOKSUSSA

ASKELTEN JA KULJETUN MATKAN MÄÄRITTÄMINEN KÄVELYSSÄ JA JUOKSUSSA

Nuutti Santaniemi
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma

Tekijä: Nuutti Santaniemi

Opinnäytetyön nimi: Askelten ja kuljetun matkan määrittäminen kävelyssä ja juoksussa

Työn ohjaaja: Jukka Jauhiainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 55 + 2 liitettä

Opinnäytetyössä tutkittiin askelten ja kuljetun matkan määrittämistä käyttäen rannelaiteen kiihtyvyyssanturia. Työn tavoitteena oli testata, kuinka hyvin kiihtyvyydestä määritetyt estimaatit vastaavat mitattuja vertailuarvoja kävely- ja juoksu-suorituksissa.

Testausta varten suunniteltiin ja toteutettiin mittaukset 10 testihenkilölle.

Mittauksissa kerättiin dataa neljältä eri matkalta (50 m, 100 m, 200 m ja 1 km / 2 km) kahdella eri kävely- ja juoksunopeudella. Testihenkilöt saivat valita vapaasti 1 km:n tai 2 km:n matkan ja kulkea sen vapaalla nopeudella oman tuntemuksen mukaan. Mittauksissa testihenkilöllä oli kiihtyvyyttä mittaavat rannelaitteet molemmissa ranteissaan, sykemittari taskussaan, sykevyö ja -lähetin rinnalla, sekä sykemittariin yhdistetty s3+-juoksusensori vasemmassa kengässä. Lisäksi testihenkilöllä oli kiihtyvyyttä mittaava GPS-paikannin lantiolla, mutta sen dataa ei hyödynnetty tässä työssä. Mittaukset videoitiin viimeistä 1 km:n / 2 km:n suoritusta lukuun ottamatta todellisen askelmäärän selvittämiseksi.

Tulosten analysoinnin perusteella ranteesta määritetyt askelmäärät korreloivat lähes täydellisesti videolta laskettuja askelmääriä ($r = 0,998 \pm 0,002$). Matka-estimaatti puolestaan korreloi mitattuja matkoja lähes yhtä hyvin, $r = 0,998 \pm 1,5 * 10^{-5}$. Käytännössä molemmat estimaatit vastasivat mitattuja arvoja erittäin hyvin.

Asiasanat: askelmäärän mittaus, kiihtyvyyssanturit, askelmittarit, korrelaatio

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Biomedical engineering

Author: Nuutti Santaniemi

Title of thesis: Defining steps and distance in walking and running

Supervisor: Jukka Jauhiainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 55 + 2
appendices

My thesis focused on studying step and distance detection using wrist worn accelerometer. The goal of this work was to test how well the acceleration based detection methods correlate to measured steps and distance values in walking and running.

Data was collected with 10 different people. Each one of the participants were wearing wrist accelerometer device on each hand, heartbeat sensor and Polar s3+ -running sensor on left shoe. The participants ran and walked three different distances with two different running and walking speeds. Finally the participants walked or ran either 1 km or 2 km distance. The first three distances were also filmed.

After the measurements were carried out the collected data was analyzed. The studied method for step detection correlated almost perfectly to the steps calculated from the film ($r = 0,998 \pm 0,002$). The distance detection method correlated the reality almost as good as the step method. The correlation between distance method and measured distance was $r = 0,998 \pm 1,5 * 10^{-5}$

Keywords: accelerometer, correlation, pedometer

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LIIKUNTASUOSITUKSET JA FYYSINEN AKTIIVISUUS	9
2.1 Liikunnan terveysvaikutukset ja liikuntasuositukset	9
2.2 Fyysinen aktiivisuus ja sen mittaaminen	11
3 KIIHTYVYYS JA ASKELEET	13
3.1 Askelsykli	13
3.2 Juoksusykli	16
3.3 Juoksunopeus ja askelpituus	17
3.4 Askelten tunnistus	18
3.5 Kiihtyvyyden määritelmä	19
3.6 Kiihtyvyyden mittaaminen	20
3.7 Matkan tunnistus	22
4 DATAN KÄSITTELYN MATEMATIIKKA	24
4.1 Korrelaatio	24
4.2 Keskiarvo ja keskihajonta	24
5 MITTAUKSET	26
5.1 Mittalaitteet	26
5.1.1 Polar RS800CX	26
5.1.2 Polar s3+ -juoksusensori	27
5.1.3 GPS/ACC -sensori	27
5.1.4 3D-kiihtyvyyttä mittaava rannelaite	27
5.1.5 Muut tarvikkeet	27
5.2 Mittauksien kulku	27
5.3 Testihenkilöt	28
6 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI	30
6.1 Askelien laskeminen videolta	30
6.2 Kiihtyvyydata	30
6.3 Askelestimaatti	32

6.3.1 Askelestimaatin ja videolta laskettujen askelten korrelaatio	32
6.3.2 Kadenssin vaikutus korrelaatioon	38
6.3.3 Käden vaikutus korrelaatioon ja keskihajontaan	41
6.4 Matkaestimaatti	42
6.5 Virhelähteiden tunnistus	46
7 POHDINTA	50
LÄHTEET	52
LIITTEET	55

1 JOHDANTO

Älypuhelin ja muiden älysovellusten maailmassa laitteet ja ohjelmistot kehittyvät alati. Laitteiden ja ohjelmistojen kehityksen myötä ihmisillä on mahdollisuus seurata omaa kehoaan entistä tarkemmin. Muun muassa modernit sykemittarit, joita voidaan maallikon silmin kutsua jo täysiverisiksi ranteessa pidettäviksi urheilutietokoneiksi, vastaavat tähän tarpeeseen. Urheilukellojen ja urheilutietokoneiden trendinä onkin ollut jo pitkään saada mahdollisimman paljon tietoa ranteessa pidettävästä laitteesta. Yksi menetelmä lisädatan keräämistä varten on kiihtyvyyssanturin lisääminen rannelaitteeseen. Tämän työn tarkoituksena oli määrittää askelia ja kuljettua matkaa rannekihtyvyydestä. Työssä siis selvitetiin, kuinka hyvin rannelaitteen määrittämät askel- ja matka-arvot korreloivat mitattuja lukemia.

Mittaukset suoritettiin 10 testihenkilöllä. Mittauksissa henkilöt kävelivät ja juoksivat ennalta mitatut matkat (50 m, 100 m, 200 m ja 1 km tai 2 km) kahdella eri kävely- ja juoksunopeudella. Viimeisen suorituksen (1 km tai 2 km) sai kulkea täysin omaan tahtiin. Dataa kerättiin kahdella kiihtyvyyttä mittaavalla rannelaitteella, yksi kummassakin kädessä, lantiolle puettavalla GPS- ja kiihtyvyyssensorilla ja sykemittarilla sekä siihen yhdistetyllä juoksusensorilla. Lisäksi suoritukset videoitiin todellisen askelmäärän selvittämiseksi.

Ranteessa pidettävän laitteen kykyä tunnistaa askelia on tutkittu jo aiemminkin. Juhani Lahdenperän insinööriyössä ”Askelmäärän mittaus ranteessa pidettävän kiihtyvyyssanturin avulla” oli tavoitteena määrittää aktiviteettikohtaiset kertoimet kiihtyvyyssdataa käsittelevälle algoritmille. Kertoimien avulla rannelaitteen lukemat voitiin muuntaa askeliksi. Työssä määritettiin kertoimet siivoukselle, pyöräilylle, sulkapallolle, juoksumatolla juoksulle ja kävelyllä sekä salibandyllä. Tutkimuksen perusteella todettiin, että ranteessa pidettävällä laitteella voidaan mitata askelia hyvällä tarkkuudella. (1.)

Juho Lääkön insinööriyössä ”Päivittäisen askelmäärän arviointi rannelaitteella kahden viikon mittauksen perusteella” tutkittiin kiihtyvyyttä mittaavien rannelaitteiden soveltuvuutta päivittäisen askelmäärän mittaamiseen. Askelmäärät rekis-

teröitiin, kun kiihtyvyys ylitti tietyt kynnysarvot. Näitä kynnysarvon ylittäneitä lukemia kutsuttiin count-lukemiksi. Työssä pyrittiin löytämään yhteys count-lukemien taajuuden ja askelmäärän välille. Työn tuloksena rannelaitteelta lasketut askelmäärät saatiin korreloimaan hyvin referenssinä käytettyjen mittareiden kanssa ($r = 0,94 \pm 0,03$). (2.)

Tässä työssä tutkittiin, kuinka tarkasti ranteen kiihtyvyydestä voidaan määrittää askeleet ja matka käyttäen valmiiksi laskettuja estimaatteja. Lisäksi tutkittiin mahdollisia virhetekijöitä.

2 LIIKUNTASUOSITUKSET JA FYYSINEN AKTIIVISUUS

Liikunnan voidaan määritellä olevan suunnitelmallista ja säännöllistä fyysistä aktiivisuutta. Määritelmän mukaan liikunnan tarkoituksena on yleensä kunnon tai terveyden säilyttäminen tai parantaminen. Fyysinen aktiivisuus puolestaan määritellään lihassupistuksen aiheuttamaksi kehon tai sen osan liikkeeksi, joka muuttaa kehon energiankulutuksen lepoenergiankulutusta suuremmaksi. (3, s. 73.)

2.1 Liikunnan terveysvaikutukset ja liikuntasuosituks

Liikunta on monimutkainen toiminta, joka vaatii useiden kehon eri osien ja elien yhteistyötä. Tätä keskushermostosta alkavaa ja nivelten ja luiden avulla liikkeeksi muunnettavaa ketjua kutsutaan kuormitusvasteeksi. Kun kuormitusvasteita toistetaan tarpeeksi useasti eli toisin sanoen harjoitellaan, alkavat kehon eri osat mukautua. Kansankielellä tämä tarkoittaa, että harjoitus on tuottanut tulosta. Liikunnalla on myös suuri merkitys monien sairauksien hoidossa ja ennaltaehkäisyssä. Esimerkiksi jo lähes kansansairaudeksi luokitellun sepelvaltimotaudin ennaltaehkäisyssä, hoidossa ja kuntoutuksessa liikunnalla on merkitystä. (4, s. 13.)

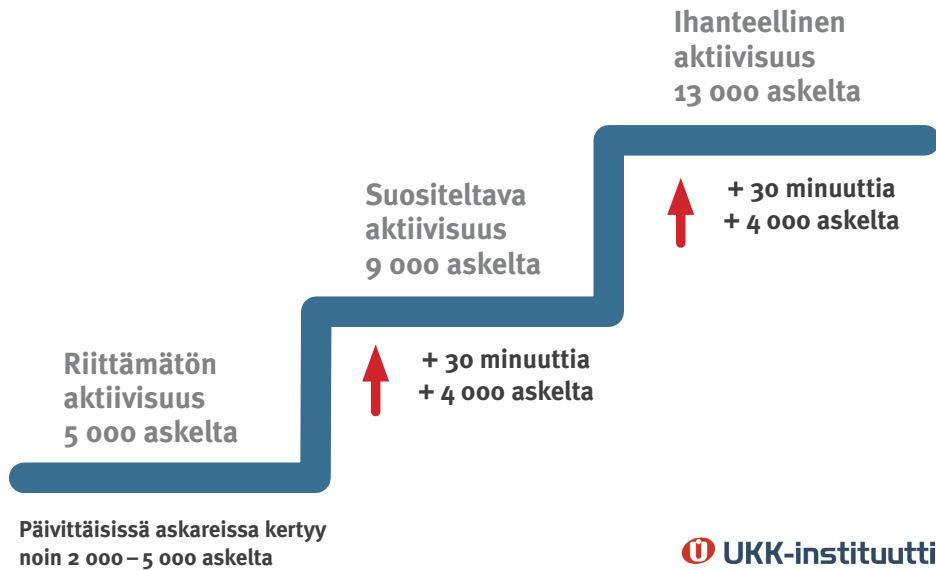
Terveysliikuntaa edistävä UKK-instituutti on tehnyt vuonna 2009 liikuntapiirakan (kuva 1), joka kiteyttää suomalaiset terveysterveysliikuntasuosituks. Liikuntapiirakka toimii hyvänä ohjenuorana viikoittaiselle liikunnalle. Liikuntapiirakka suosittelee ainakin 2 t 30 min kestävyysliikuntaa, kuten arki-, hyöty- ja työmatkaliikunta, tai vaihtoehtoisesti 1 t 15 min rasittavaa kestävyysliikuntaa viikossa. Lisäksi piirakka ohjeistaa kaksi kertaa lihaskuntaa ja liikkeenhallintaa edistävää liikuntaa viikossa. (5.)



KUVA 1. Liikuntapiirakka 2009 (5)

UKK-instituutti on myös laatinut ammattilaisille suunnitellun kaavion (kävelyn portaat) päivittäisestä aktiivisuudesta kävelyn suhteen. Kaavio on esitetty kuvassa 2. Kävelyn portaat kuva on tehty 2004 julkaistun tiedeartikkelin (*Tudor-Locke C, Bassett Jr DR, How Many Steps/Day Are Enough? Preliminary Pedometer Indices for Public Health, Sports Medicine 2004; 34 (1): 1-8*) pohjalta. Kaavion mukaan noin 2000–5000 askelta kuluu päivittäisten askareiden hoitoon. Tämä ei kuitenkaan ole riittävä päivittäisen aktiivisuuden määrä. Kaavio suosittelee päivittäin otettavaksi noin 9000 askelta ja lisäksi 30 min muuta liikuntaa. Mikäli muu liikunta koostuu askelista, on askelmääräsuositus lisäliikunnalle 4000 askelta. Kaavion mukaan ihanteellinen päivittäinen aktiivisuus olisi 13 000 askelta (+ 30 min muuta liikuntaa tai 4000 askelta). (6.)

Kävelyn portaat



KUVA 2. Kävelyn portaat (6)

2.2 Fyysinen aktiivisuus ja sen mittaaminen

Fyysisen aktiivisuuden mittauksissa käytetään yleisesti lyhennettä MET. Lyhenne MET tulee sanoista metabolinen ekvivalentti. MET on kansainvälinen standardoitu suure fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden mittaamiseen. Yksi MET vastaa levossa olevan istuvan henkilön hapenkulutusta. Tällöin hapenkulutus on 3,5 ml/kg, joka puolestaan vastaa energiankulutuksena 1 kilokalorin kulutusta painokiloa kohti tunnissa (1 kcal/kg/h). (3, s. 75.) MET-arvot siis kertovat kuinka rasittava suoritus on verrattuna lepotilaan. Taulukossa 1 on esitetty karkeat MET-rajat ja sykerajat erilaisille fyysisen aktiivisuuden tasoille. (4, s. 24.)

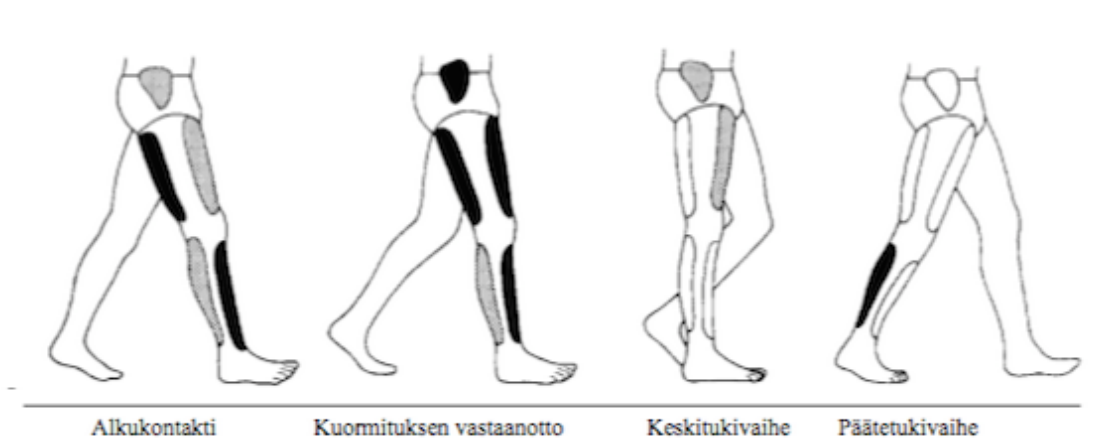
TAULUKKO 1. Fyysisen aktiivisuuden MET-arvot ja sykerajat (4, s. 24)

Kuormittavuus	Esimerkki laji	MET	syke
Fyysinen passiivisuus	Istuminen	1–2	50–70
Kevyt	Hidas kävely	2–3	70–90
Kohtalainen	Reipas kävely	3–6	90–120
Raskas	Hölkä	6–10	120–160
Erittäin raskas	Juoksu	>11	160–180

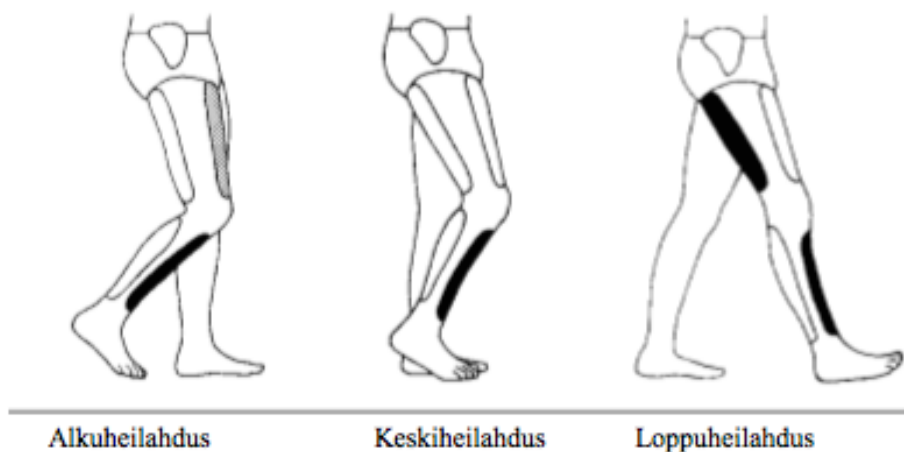
3 KIIHTYVYYS JA ASKELEET

3.1 Askelsykli

Askelsykli lasketaan muodostuvaksi peräkkäisistä saman jalan kontakteista alustaan. Askelsykli on esitetty kuvissa 3 ja 4 siten, että sykli alkaa kuvan 3 alusta ja päättyy kuvan 4 loppuun. Askelsykli koostuu kahdesta päävaiheesta, joita ovat tukivaihe (kuva 3) ja heilahdusvaihe (kuva 4). Noin 60 % askelsyklin kestosta kuluu tukivaiheeseen ja n. 40 % syklin kestosta kuluu heilahdusvaiheeseen. Askelsyklistä ja sen eri vaiheista käytetään useita eri nimityksiä. Suomessa vakiintuneet nimitykset ovat kantaisku, keskituki, kannan kohotus, varvastyöntö, alkuheilahdus, keskiheilahdus ja loppuheilahdus. Nimitykset vastaavat kuvissa 3 ja 4 esitettyjä vaiheita. Kuvissa vaiheet on nimetty Jaquelin Perryn tutkimuksien pohjalta. (7, s. 158, 160.)



KUVA 3. Askelsyklin tukivaihe (mukaillen 8, s. 55)



KUVA 4. Askelsyklin heilahdusvaihe (mukaillen 8, s. 55)

Alkukontakti eli kantaisku on oikean jalan askelsyklin ensimmäinen vaihe (Kuva 3). Kantaiskun kesto on noin 0–2 % koko askelsyklin kestoista. Askelsykli laske-
taan alkaneeksi, kun oikea kantapää osuu alustaan. Kaikilla ihmisillä kantapää ei kuitenkaan ole ensimmäinen alustaan osuva kohta. Syitä tähän ovat mm. tarkoituksella muuteltu kävely, kuten tanssijoilla ja voimistelijoilla on tapana, tai liikerajoitus. Terminä ”kantaisku” voi joissakin tapauksissa olla epätarkka ja siitä syystä ”alkukontakti”-termiä voidaan käyttää rinnakkaisena terminä. (3, s 175, 176.) Oikean jalan alkukontaktin (kantaiskun) aikana vasen käsi on tyypillisesti eteenpäin ojennettuna (7, s. 180).

Kuormituksen vastaanottovaiheessa kehon painopiste siirtyy kokonaan edessä olevalle jalalle. Tapahtuu siis painonsiirto jalalta toiselle, tässä tapauksessa vasemmalta jalalta oikealle. (7, s. 185.)

Keskitukivaihe voidaan jakaa edelleen kahteen vaiheeseen, joita ovat varhainen keskitukivaihe ja myöhäinen keskitukivaihe. Oikean jalan keskitukivaiheen aikana vasen jalka heilautetaan eteenpäin ja samalla myös kehon painopiste siirtyy. Vaiheen alussa kädet ovat vartalon sivuilla, vasen matkalla taakse ja oikea eteen. (7, s. 195, 200, 201.)

Kannankohotusvaihe eli päätetukivaihe päättää yhden jalan tukivaiheen. Päätetukivaihe lasketaan alkaneeksi, kun tässä tapauksessa oikean jalan kanta irta-
alustalta. Päätetukivaihe päättyy oikean jalan eteen heilahdukseen ja kannan

osumiseen alustaan. Vaiheen alussa oikean jalan ollessa takana ovat yläraajat ääriasennoissaan, vasen takana ja oikea edessä. (7, s. 205, 208.)

Esiheilahduksessa eli varvastyönnössä alkaa raajan liike eteenpäin. Esiheilahdus päättyy, kun varpaat irtoavat alustalta. Esiheilahduksessa myös oikea yläraaja aloittaa liikkeensä taaksepäin. Vasen yläraaja aloittaa tällöin liikkeen eteenpäin. (7, s. 213, 215.)

Jalan irrottua alustalta alkaa vapaan heilahduksen vaihe. Vapaaheilahdus jakautuu alkuheilahdukseen, keskiheilahdukseen ja loppuheilahdukseen. Nämä vaiheet ovat lähes yhtä pitkiä. Alkuheilahdus päättyy, kun eteenpäin heilahtavan jalan varpaat ovat tukijalan kannan kohdalla. Kädet ovat alkuheilahduksessa vartalon sivuilla. (7, s. 218, 219.)

Keskiheilahdusvaihe alkaa, kun heilahtava jalka on tukijalan vieressä. Keskiheilahdusvaihe päättyy, kun eteenpäin heilahtaneen raajan sääri on pystysuorassa asennossa. Tässä vaiheessa oikea yläraaja heilahtaa taaksepäin ja vasen eteenpäin. (7, s. 220, 221.)

Askelsyklin viimeinen vaihe on päätösheilahdus. Kyseinen vaihe alkaa kun heilahtaneen raajan sääri on pystysuorassa. Vaihe päättyy kun heilahtava jalka osuu alustalle. Päätösheilahduksessa molemmat käsivarret ovat ääriasennoissaan. Tässä tapauksessa oikea käsivarsi on takana ja vasen edessä. (7, s. 222–223.)

Askelpituus voidaan mitata vasemman jalan kantaiskusta oikean jalan kantaiskuun tai päinvastoin. Ihmisen askeleen pituus on pisimmillään tyypillisesti 20–25 vuotiaana. Aikuisilla naisilla askelpituus on keskimäärin hieman miehiä lyhyempi. Miehillä keskimääräinen askeleen pituus on noin 70–75 cm. Askelsyklin pituus on kahden askeleen pituuden summa. Askelsyklin pituus on siis saman jalan kantaiskusta seuraavaan kantaiskuun. (7, s. 162–163.) Askelsykliä (askelparien) esiintymistiheyttä kutsutaan kadenssiksi.

3.2 Juoksusykli

Juoksu ja kävely ovat luonnollisesti lähellä toisiaan ja niistä löytyy paljon yhtäläisyyksiä. Juoksussa ei ole varsinaista kaksoistukivaihetta ollenkaan. Juoksussa kaksoistukivaihe korvaantuu lentovaiheella. Juoksusykliin kuuluu kaksi lentovaihetta. (9, s 6.) Kun molemmat jalat ovat yhtä aikaa ilmassa jossakin liikkeen vaiheessa, voidaan liikkuminen tulkita juoksuksi. Juoksussa alaraajoihin kohdistuva kuormitus on noin kolminkertainen kävelyyn nähden. Tämä johtuu lantion ja kehon massapisteen suuremmiksi kasvaneista korkeusvaihteluista. (3, s. 331.)

Sandströmin mukaan juoksusykli koostuu viidestä vaiheesta, joita ovat (3, s. 333)

1. Kuormitusvaihe = Maahantulovaihe + Maksimikosketusvaihe
2. Ponnistusvaihe
3. Lentovaihe
4. Eteenpäinheilahdusvaihe
5. Jalan laskeutumisvaihe.

Kuormitusvaiheen ensimmäinen osa eli maahantulovaihe lasketaan alkaneeksi, kun juoksuaskeleen eteen heilahtava jalka osuu alustaan, esimerkiksi oikea jalka heilahtaa eteen ja aloittaa uuden askeleen. Maksimikosketusvaiheessa kehon massakeskipiste laskeutuu alemmas ja kaikki paino on toisella jalalla, tässä oikealla jalalla. Maksimikosketusvaiheessa takimmainen jalka on jo heilahtamassa eteenpäin. (3, s. 334.)

Juoksusyklin toisessa vaiheessa eli ponnistusvaiheessa paino on edelleen kokonaan toisella jalalla, tässä oikealla jalalla. Takaa eteen heilahtava jalka on kuitenkin jo tukijalan kohdalla. Ponnistusvaiheessa liike eteenpäin kiihtyy, koska juoksija ponnistaa tukijalallaan eteenpäin. (3, s. 334.)

Kolmannessa vaiheessa eli juoksun lentovaiheessa molemmat jalat ovat ilmassa. Ilmalennon pituus määrittää askelpituuden. Ilmalennon aikana eteen heilahtava jalka, tässä vasen, valmistautuu osumaan alustaan. (3, s. 334.)

Neljännessä eli eteenpäinheilahdusvaiheessa takana oleva jalka, tässä oikea, heilahtaa takaisin eteen. Heilahtava alaraaja on ponnistuksen apuna lisäämällä liike-energiansa avulla kiihtyvyyttä. (3, s. 334.)

Juoksusyklin viidennessä ja viimeisessä vaiheessa eli jalan laskeutumisvaiheessa laskeutuva jalka valmistautuu ottamaan koko kehon painon päällensä. Laskeutumisvaiheessa on tärkeää, että ylävartalo on laskeutumassa kokonaisuudessa laskeutumisen vastaanottavan jalan päälle. (3, s. 335.)

3.3 Juoksunopeus ja askelpituus

Juoksunopeus muodostuu kahden muuttujan tulosta. Juoksunopeus voidaan laskea kaavalla 1.

*Juoksunopeus = Askelpituus * Askeltiheys*

KAAVA 1

Suurinta mahdollista juoksunopeutta tavoiteltaessa on askeltiheys, jota kutsutaan myös kadenssiksi, suuremmassa roolissa. Optimaalisen juoksutekniikan kannalta on kuitenkin tärkeää, että askelpituus ja askeltiheys ovat oikeassa suhteessa toisiinsa. (3, s. 332.) Askeltiheyttä eli kadenssia voidaan mitata muun muassa luvussa 4.1.2 esitellyllä s3+-juoksusensorilla. Tässä työssä kadenssin yksikkönä on käytetty askelparia minuutissa (askelpari/min).

Juoksun askelpituus voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen. Näitä osa-alueita ovat irtoamispituus, lentopituus ja alastulopituus. Irtoamispituudella tarkoitetaan etäisyyttä, joka on ponnistavan jalan ja kehon massakeskipisteen välillä horisontaalitasossa. Yksinkertaistettuna mitä suuremmassa etukenossa juoksija on, sitä suurempi on irtoamispituus. (3, s. 332.)

Lentopituudeksi kutsutaan matkaa, jolloin juoksijan molemmat jalat ovat ilmassa. Lentopituus riippuu ponnistusvoimasta ja irtoamishetken kulmasta. Juoksijan lentorata on täysin ballistisen radan mallin mukainen. (3, s.332.)

Alastulopituus on periaatteeltaan hyvin samanlainen irtoamispituuden kanssa. Alastulopituus onkin eteen heilahtaneen jalan maahantulokohdan ja kehon massakeskipisteen välinen matka horisontaalitasossa. (3, s, 332.)

3.4 Askelten tunnistus

Askelten tunnistukseen kiihtyvyydatasta on kehitetty monia erilaisia algoritmeja. Näitä ovat kynnysarvoon perustuva tunnistus (threshold), valmiiseen askelmalliin perustuva tunnistus (template matching method) ja Pan-Thompkinsin metodi. (10, s. 1.) Tässä työssä askelten tunnistuksessa käytettiin työn tilaajan rannekkiihtyvyydestä määritettyä estimaattia.

Kynnysarvoihin perustuvassa tunnistuksessa askel tunnistetaan kun kiihtyvyyden kynnysarvo ylittyy. Näitä kynnysarvoja kutsutaan yleisesti count-arvoiksi. Count-arvojen ilmenemistaajuuden perusteella voidaan laskea mm. askeltiheys. Yksi kynnysarvoihin perustuvan tunnistuksen haasteista on kynnysarvon dynaamisuus. Yhdellä ja samalla kynnysarvolla ei voida tunnistaa askelia kaikissa tilanteissa. (1, s. 34–53. ; 11, s. 3.)

Askelmalliin perustuvassa tunnistuksessa periaatteena on luoda malli normaalisti askelsyklistä. Tällöin tuntemattomasta datasta voidaan tunnistaa mallin mukainen askelsykli. Tämän metodin ongelma on se, että ennalta luotu malli ei suoraan sovellu kaikille ihmisille. Malli on lähes henkilökohtainen, eikä siihen perustuvaa askelten tunnistusta voida välttämättä käyttää esimerkiksi massamarkkinoille suunnatussa sykemittarissa. (10, s. 2–3.)

Pan-Tompkinssin metodi perustuu signaalin muuntamiseen suodattamalla. Metodin periaatteena on suodattaa signaalia useilla erilaisilla suodattimilla siten, että lopputuloksena saadaan kanttiaaltoja. Pan-Tompkinssin metodi on alunperin kehitetty sydänsähkökäyrän R-piikin tunnistamiseen. Metodien vaiheet on esitetty kuvassa 5. Vaiheiden nimet vapaasti suomennettuna ovat kaistanpäästö suodatus, derivointi, neliöön korotus, integrointi ja huippukohtien etsintä. (11, s. 2.)



KUVA 5. Pan-Tompkinssin algoritmin lohkokkaavio (11, s. 2)

3.5 Kiihtyvyyden määritelmä

Newtonin toinen laki eli dynamiikan peruslaki vastaa kysymykseen, mitä tapahtuu jos kappaleeseen vaikuttavien voimien resultantti ei ole nolla. Mikäli voimien resultantti ei ole nolla, on kappale kiihtyvässä liikkeessä. Kiihtyvyydellä on suunta ja suuruus eli se on vektorisuure. Kiihtyvyyttä merkitään tavallisesti kirjaimella a . SI-järjestelmässä kiihtyvyyden yksikkö on m/s^2 . Kiihtyvyydellä kuvataan siis kappaleen nopeudessa tapahtuvaa muutosta ajan suhteen. Kiihtyvyys voidaan laskea kappaleen massan ja kappaleeseen kohdistuvan voiman avulla (kaava 2). (12, s. 95.)

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

KAAVA 2

Kun ratkaistaan a , saadaan kiihtyvyydelle

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

F = kokonaisvoima (N)

m = kappaleen massa (kg)

a = kokonaiskiihtyvyys (m/s^2)

Kiihtyvyys on mahdollista esittää myös nopeuden derivaattana ajan suhteen.

Tällöin saadaan hetkellinen kiihtyvyys (kaava 3) (12, s. 49.)

$$a = \frac{dv}{dt}$$

KAAVA 3

v = kappaleen nopeus

t = aika

Kaikkiin maapallolla oleviin kappaleisiin vaikuttaa maan vetovoima. Maan vetovoima aiheuttaa kappaleelle voiman, jota kutsutaan putoamiskiihtyvyydeksi. Putoamiskiihtyvyys oletetaan yleensä vakioksi ja sen normaali arvo on $9,81 \text{ m/s}^2$. Putoamiskiihtyvyyttä kuvataan yleensä kirjaimella g . Kiihtyvyyssmittauksissa voidaan käyttää jopa g -yksiköitä. Putoamiskiihtyvyys ei kuitenkaan ole täysin

vakio, vaan se vaihtelee maapallon korkeuden ja leveyspiirin mukaan. Erot ovat kuitenkin hyvin pieniä. Esimerkiksi Helsingissä merenpinnan tasolla $g = 9,8190 \text{ m/s}^2$ ja Oulussa $g = 9,8224 \text{ m/s}^2$. (12, s. 61.)

3.6 Kiihtyvyyden mittaaminen

Kiihtyvyyden mittaukseen on kehitetty erilaisia antureita. Kiihtyvyysanturit ovat levinneet hyvin laajalle ja niitä löytyy jo esimerkiksi lähes kaikista älypuhelimista. (13.) Kiihtyvyysanturit voidaan jakaa ryhmiin niiden toteutustavan mukaan. Seuraavassa luettelossa on yleisimpiä kiihtyvyysanturityyppejä (14, s.135–145.):

- kapasitiivinen kiihtyvyysanturi
- induktiivinen kiihtyvyysanturi
- pietsosähköinen kiihtyvyysanturi
- pietsoresistiivinen kiihtyvyysanturi
- venymäliuskakiihtyvyysanturi
- potentiometrinen kiihtyvyysanturi
- kiihtyvyysservoanturi.

Niin sanotun normaalin (jousitoimisen) kiihtyvyysanturin toiminta perustuu jousen päissä olevan seismisen massan liikkeeseen ja varsinainen kiihtyvyys määritetään voiman aiheuttamista jousen poikkeamista. (15.) Jousen poikkeama voidaan laskea kaavalla 4 (16, s. 97). Kuvassa 6 on esitetty jousella toimivan kiihtyvyysanturin toimintaperiaate.

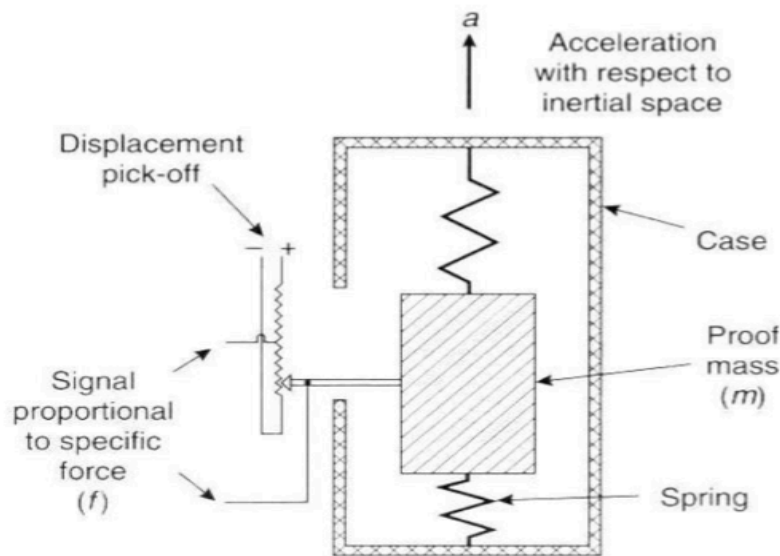
$$F_j = -kx$$

KAAVA 4

F_j = jouseen kohdistunut voima

k = jousivakio

x = jousen poikkeama

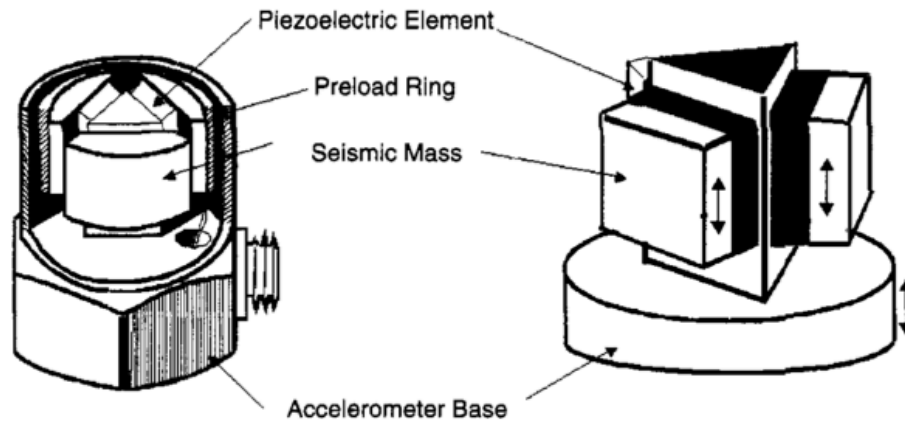


KUVA 6. Kiihtyvyysanturin rakenne (15)

Yksi käytetyimmistä kiihtyvyysantureista on pietsosähköinen kiihtyvyysanturi. Pietsosähköinen anturi on suosittu, koska sillä pystytään mittaamaan hyvin paljon erilaisia kiihtyvyyksiä. Nämä pietsosähköiset anturit ovat myös hyvin kestäviä. (17, s. 137.)

Pietsosähköisten kiihtyvyysanturien toiminta perustuu seismisen massan (Seismic Mass, kuva 7) liikkeeseen ja pietsomateriaalin kykyyn synnyttää sähkövaraus kun kappaleessa aiheutuu muodonmuutos ulkoisen voiman aiheuttamana. Pietsoelementit (Piezoelectric Element, kuva 7) ovat verrattavissa ns. normaalin kiihtyvyysanturin jouseen (Spring, kuva 6). Kun pietsosähköinen kiihtyvyysanturi on kiihtyvässä liikkeessä, seisminen massa aiheuttaa pietsoelementissä muodonmuutosta. Tällöin pietsoelementissä syntyy sähkövaraus, jon-

ka suuruudesta voidaan päätellä kiihtyvyys. Kuvassa 7 on esitetty pietsosähköisen kiihtyvyysanturin rakenne. (17, s. 137–138.)



KUVA 7. Pietsosähköisen kiihtyvyysanturin rakenne (17, s. 138)

3.7 Matkan tunnistus

Tässä kappaleessa esitellään yksi tapa matkan tunnistukseen 3D-kiihtyvyysdatasta. Kiihtyvyysantureiden avulla erilaisten eleiden ja ominaisuuksien kuten esim. matkan tunnistaminen ei rajoitu pelkästään urheilutietokoneisiin, vaan myös esimerkiksi pelikonsolien valmistajat (Nintendo, Sony, Microsoft) ovat huomanneet kiihtyvyysantureiden mahdollisuudet. Peliteollisuuden tuotteissa kiihtyvyysantureiden avulla tunnistetaan muun muassa peliohjaimen kääntelyä ja erilaisia liikkeitä, kuten esimerkiksi tennisyönti Nintendo Wii -ohjaimella Wii Sports Tennis -pelissä. (18, s.1.)

Jotta kiihtyvyysdatasta voidaan saada matka esille, on ymmärrettävä kiihtyvyyden perusyhtälöt. Kiihtyvyyden määrittävä Newtonin toinen laki on käyty läpi luvussa 3.1 ja siitä syystä tässä ei käsitellä samoja asioita. Kaavassa 5 on esitettyä jatkuvan kiihtyvyyden lauseke. (18, s. 2.)

$$x = x_0 + \frac{dx}{dt}_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

KAAVA 5

x, x_0 = paikat hetkillä t ja $t = 0$

a = kiihtyvyys [m/s^2]

Matkan laskeminen kiihtyvyydatasta perustuu kiihtyvyydataan kaksinkertaiseen integrointiin. Derivoitaessa matka ajan suhteen saadaan laskettua nopeus ja derivoitaessa nopeus ajan suhteen saadaan kiihtyvyys. Paikan määrittäminen kiihtyvyydestä ajan suhteen on esitetty kaavoissa 6, 7, 8 ja 9. Kaavasta 6 voidaan johtaa kaava 7. (18, s. 5.)

$$v_B - v_A = \int_{t_A}^{t_B} \left[\frac{a_B - a_A}{t_A} t + (2a_A - a_B) \right] dt \quad \text{KAAVA 6}$$

Tästä saadaan kaava 7:

$$v_B - v_A = \frac{1}{2} t_A (a_B + a_A) \quad \text{KAAVA 7}$$

v_B = nopeus aikavälillä t_B

Kun kaavoissa 6 ja 7 integroitu nopeus integroidaan uudestaan ajan suhteen, saadaan integraalilauseke, joka on esitetty kaavassa 8 (18, s. 5).

$$x_B - x_A = \int_{t_A}^{t_B} \left[\frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} t + (2v_A - v_B) \right] dt \quad \text{KAAVA 8}$$

Tästä saadaan kaava 9:

$$x_B - x_A = \frac{1}{2} t_A (v_B + v_A) \quad \text{KAAVA 9}$$

Nopeus ja matka (siirtymä) ovat siis integroitavissa kiihtyvyydestä ajan suhteen. Siirtymä x voidaan laskea suoraan yhdellä kaavalla (kaava 10). Käyttämällä kaavaa 10 voidaan laskea siirtymä, kun kiihtyvyys muuttuu jokaisella aikavälillä. (18, s. 6.)

$$x_{n+1} - x_n = \left[\frac{1}{2} a_{n+1} + \frac{3}{2} a_n + 2 \sum_{j=1}^{n-1} a_j \right] \frac{t^2}{2} \quad \text{KAAVA 10}$$

x = siirtymä

a = kiihtyvyys

t = aika

4 DATAN KÄSITTELYN MATEMATIIKKA

4.1 Korrelaatio

Korrelaatio on tilastomatematiikassa ja todennäköisyyslaskennassa käytetty käsite. Se kuvaa kahden muuttujan väistä riippuvuutta. Mikäli muuttujien välinen korrelaatio on suurta, voidaan ensimmäisestä muuttujasta päätellä toinen.

Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroin (r) on yleisimmin käytetty tunnusluku korrelaation kuvaamisessa. Pearsonin kerroin kuvaa vähintään kahden muuttujan välillä olevaa lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen kaava on esitetty alla, kaava 11. (19.)

$$r = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n s_x s_y} \quad \text{KAAVA 11}$$

n = lukuparien määrä

x_i, y_i = lukuparit

s_x, s_y = x :n ja y :n keskihajonnat

\bar{x}, \bar{y} = x :n ja y :n keskiarvot

Kertoimen r arvot vaihtelevat välillä $-1 \leq r \leq +1$. Kun $r = 0$, niin muuttujien välillä ei ole lineaarista riippuvuutta. Ääriarvoilla ± 1 muuttujien välinen lineaarinen riippuvuus on täydellisen positiivista tai negatiivista. Korrelaatiokertoimen avulla voidaan arvioida mm. tilastollista riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen neliö r^2 on myös usein käytetty esitysmuoto. (19.)

4.2 Keskiarvo ja keskihajonta

Keskiarvo ja keskihajonta ovat yksinkertaisia, mutta erittäin keskeisiä menetelmiä tilastomatematiikassa. Keskiarvo lasketaan summaamalla lukujoukon alkiot ja jakamalla summa alkioden lukumäärällä. Keskihajonta kuvaa lukujoukon alkioden sijoittumista keskiarvon ympärille. Keskihajonta voidaan laskea kaavalla 12. (20.)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}}$$

KAAVA 12

x = keskiarvo

n = alkioden lukumäärä

5 MITTAUKSET

Mittauksilanteet suunniteltiin etukäteen ja mittaukset toteutettiin suunnitellun mittausprotokollan mukaan (liite 1). Mittaukset toteutettiin tutkimussuunnitelman aikataulun mukaisesti 27.–28.3.2014 pyörätiellä. Mittauksiin rekrytoitiin 10 henkilöä ja mitattuja tilanteita oli 13/hlö. Mittauksissa kerättiin dataa neljältä eri matkalta (50 m, 100 m, 200 m ja 1 km / 2 km) kahdella eri kävely- ja juoksunopeudella. Testihenkilöt saivat valita vapaasti 1 km:n tai 2 km:n matkan. Matkan sai kulkea vapaasti sekä juosten että kävellen. Jokainen testihenkilö juoksi ja käveli kolme ensimmäistä matkaa (50 m, 100 m, 200 m) sekä hitaasti että nopeasti. Testihenkilöt saivat valita kävely- ja juoksunopeutensa itse oman tuntemuksen mukaan. Suoritukset videoitiin viimeistä 1 km:n tai 2 km:n matkaa lukuunottamatta, todellisen askelmäärän selvittämiseksi. Mahdolliset poikkeamat mittauksien kulussa pyrittiin kirjaamaan mittauspöytäkirjoihin.

5.1 Mittalaitteet

Mittauksissa testihenkilöllä oli yllään sykemittari, sykevyö, sykelahtin, s3+ - juoksusensori vasemmassa kengässä, lantiolla sykevyö, jossa GPS/ACC-sensori, ja 3D-kiihtyvyyttä mittaavat rannelaitteet molemmissa ranteissaan. Sykemittarina testissä käytettiin Polar RS800CX -sykemittaria. Rannelaitteet oli nimetty tarralapuvin ”O” ja ”V”. O-laite puettiin oikeaan ranteeseen ja V-laite vasempaan ranteeseen. Mikäli testihenkilöllä oli useampia rannelaitteita, puettiin kiihtyvyyslaitteet lähimmäksi kämmettä. GPS/ACC-sykevyö puettiin lantiolle siten, että sensori asettui oikean lonkan kohdalle. GPS/ACC-sensori aloitti mittauksen heti yhdistyttyään sykevyöhön, joten rannelaitteet ja GPS/ACC-sensori oli tarpeen synkronoida kyykkyhypyn avulla ennen varsinaisten mittauksien aloittamista.

5.1.1 Polar RS800CX

Polar RS800CX on rannetietokone, jonka avulla saadaan paljon tietoa erilaisista urheilusuorituksista. Laitteessa on mm. korkeus- ja ilmanpaineitoiminnot ja erilaisia kehonmittaustoimintoja, kuten sykkeenmittaus ja siihen perustuva syketaivoitealue. Laitteeseen löytyy myös paljon lisäosia, joilla voidaan mitata mm.

pyörän polkemistaajuutta ja nopeutta, ja GPS-sensori kuljetun matkan seurantaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin Polar Wearlink -sykevyötä ja Polar H3 -sykelähetintä. Tutkimuksessa Polar RS800CX -laitetta käytettiin myös sekundaattorina. (21.)

5.1.2 Polar s3+ -juoksusensori

Polar s3+ -juoksusensori on kenkäkiinnityksellä varustettu lisälaitte, jonka voi liittää mm. Polar RS800CX -laitteeseen, kuten tässä työssä tehtiin. Juoksusensori mittaa matkaa ja juoksunopeutta. Sensorin mittaamien tietojen avulla voidaan tehokkaasti analysoida juoksun tehokkuutta. (22.)

5.1.3 GPS/ACC -sensori

Tutkimuksessa käytettiin Polar Wearlink -sykevyöhön yhdistettävää GPS/ACC-sensoria. Sensori mittasi kuljetun matkan GPS:n avulla ja lisäksi sensorin mittasi kiihtyvyyttä.

5.1.4 3D-kiihtyvyyttä mittaava rannelaite

Tutkimuksessa käytettiin 3D-kiihtyvyyttä mittaavaa prototyyppilaitetta. Laite oli ulkoisilta ominaisuuksiltaan normaalin rannelaitteen veroinen.

5.1.5 Muut tarvikkeet

Testihenkilöiden kulkemat matkat mitattiin etukäteen Digiroller plus 2 -laitteella. Laite on elektroninen mittapyörä, jolla voi mitata matkoja 99,5 %:n tarkkuudella. Laitteen mitta-alue on 0 - 999 999,9 metriä. (23.) Testit kuvattiin Sony Handycam DCR-SR50 -videokameralla.

5.2 Mittauksien kulku

Mittauksissa pyrittiin noudattamaan ennalta suunniteltua mittausprotokollaa liitteessä 1. Testihenkilöille jaettiin etukäteen ennakkotietolomakkeet, jotka he toivat valmiiksi täytettyinä mittauksiin. Testihenkilön saavuttua paikalle hänelle annettiin puettavaksi sykevyöt, sykelähetin ja GPS/ACC-sensori. Molemmat sykevyöt puettiin ihoa vasten ja kostutettiin kontaktin saamiseksi.

Mittauksen kulku kerrattiin testihenkilölle ennen mittauksien aloittamista ja häntä ohjeistettiin myös testin aikana. Testihenkilön puettua mittarit hänen sykemittarinsa ajanotto käynnistettiin yhtä aikaa mittauksien tekijän kellon kanssa. Kun kellossa oli 30 s, käynnistettiin rannelaitteet. Rannelaitteiden käynnistyttyä jälkeen GPS/ACC-sensori ja rannelaitteet synkronoitiin yhdellä kyykkyhypyllä. Testihenkilö seiso i hypyn jälkeen n. 30 sekuntia paikallaan, jonka jälkeen testin suorittaja lähetti henkilön matkaan. Ensimmäisen matkan (50 m) testihenkilö käveli hitaalla nopeudella. Saavuttuaan pyörätiehen piirretylle 50 m:n viivalle testihenkilö kääntyi kohti lähtöpaikkaa ja seiso i noin 30 sekuntia paikallaan liik kumatta. Testin suorittaja kirjasi testihenkilön lähtö- ja saapumisajat ylös mittauspöytäkirjaan. 30 sekunnin tauot suoritettiin, jotta eri suoritukset olisi helpompi erottaa kiihtyvyydatasta.

Kun 30 sekuntia oli kulunut, lähetti testin suorittaja testihenkilön uudelle suoritukselle kädenheilautuksella. Toisen matkan testihenkilö käveli nopealla vauhdilla. Testihenkilön saavuttua takaisin alkupisteeseen oli vuorossa jälleen 30 sekunnin pysähdys. Tämän jälkeen sama 50 m:n mittaus toistettiin hitaalla ja nopealla juoksulla.

Kun kaikki neljä mittaustilannetta 50 m:n matkalla oli suoritettu seiso i testihenkilö 1 minuutin paikallaan, jotta kuljetun matkan erottaminen datasta helpottuisi. Seuraavaksi suoritettiin samat mittaukset 100 m:n matkalla. 100 m:n matkalla käytettiin 50 m:n lenkkiä, siten että testihenkilö kulki kaksi kertaa 50 m:n matkan kerrallaan. Myös 200 m:n mittaukset suoritettiin saman kaavan mukaan 50 m:n lenkkiä käyttäen.

5.3 Testihenkilöt

Testeihin pyrittiin saamaan sekä oikea- että vasenkätisiä henkilöitä. Testihenkilöistä 90 % oli kuitenkin oikeakätisiä. Testihenkilöiden taustatiedot on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Testihenkilöiden taustatiedot

nro	sukupuoli	ikä(vuotta)	pituus/cm	paino/kg	kätisyys (vasen/oikea)
1	Nainen	26	167	60	oikea
2	Nainen	34	168	94	oikea
3	Nainen	36	169	55	oikea
4	Mies	29	171	62	oikea
5	Mies	29	166	68	oikea
6	Mies	41	183	85	oikea
7	Mies	30	174	74	oikea
8	Nainen	43	160	81	oikea
9	Mies	33	172	93	oikea
10	Nainen	47	165	82	vasen
Keskiarvot		35	170	75	
Keskihajonnan itseisarvot		6,9	6,2	13,8	

6 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI

6.1 Askelien laskeminen videolta

Testimittauksissa kuvattujen suoritusten askelmäärät tarkistettiin videolta. Opin-
näytetyön tekijä suoritti askelten laskemisen. Askeleet laskettiin 50 m:n, 100
m:n ja 200 m:n matkoilta. Laskeminen tapahtui katsomalla videota hidastettuna
(0,3–0,8-kertaisella nopeudella) ja käyttämällä hiiren klikkauslaskuria apuna
askelten laskemisessa. Hiirtä klikattiin jokaisen askeleen kohdalla.

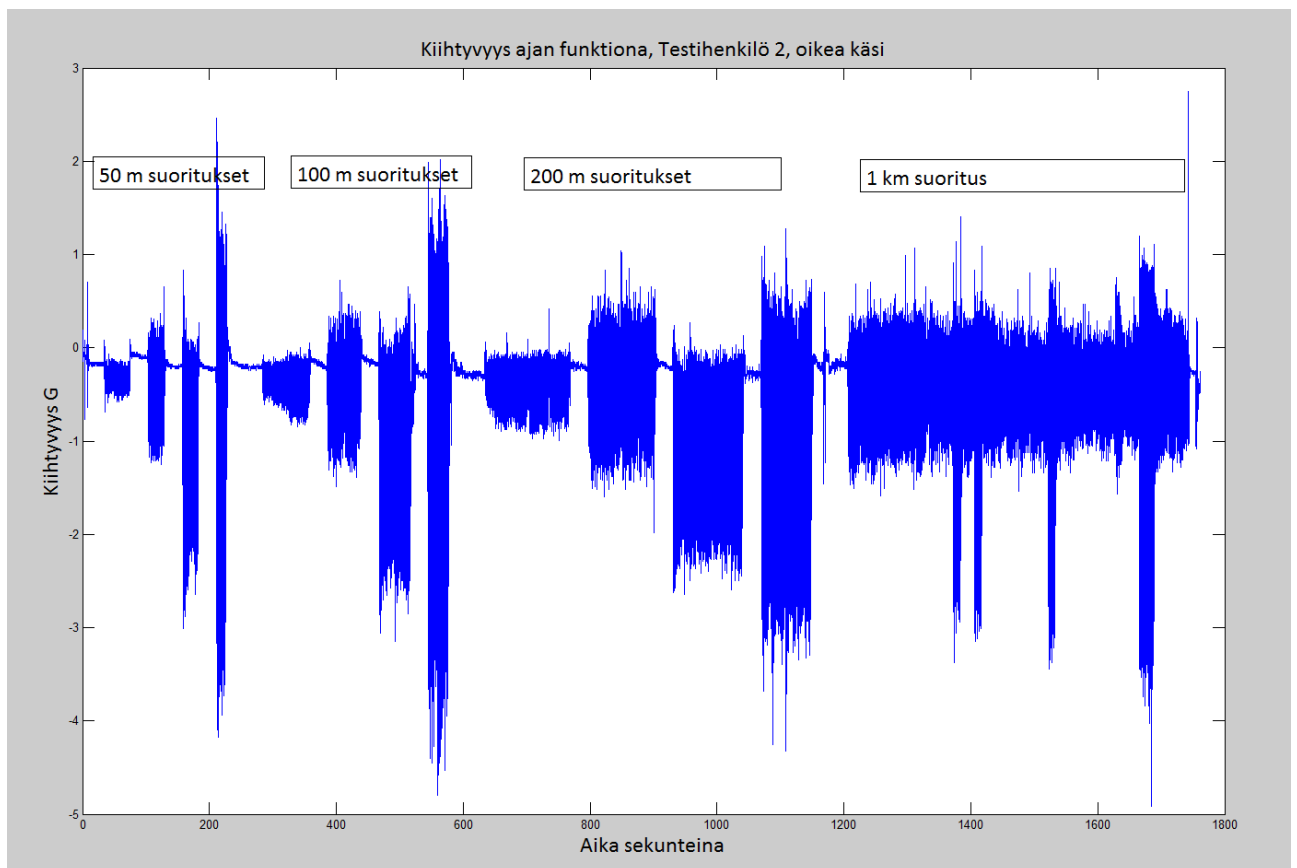
Laskettavien askelien määrittämisessä käytettiin apuna Juhani Lahdenperän
opinnäytetyössä tehtyjä määritelmiä. Jalan noustessa alustalta ja siirtyessä toi-
seen paikkaan on yksi askel otettu. Kun toinenkin jalka nousee alustalta ja jos
se ei laskeudu ensiksi siirtyneen jalan viereen, on otettu toinen askel. Tällöin on
otettu jo kaksi askelta. (1, s. 33–34.)

Tässä työssä askelten laskennan kannalta haasteellisin paikka olivat käännök-
set, joissa askeltaminen ei aina ollut säännöllistä. Käännöstä, jossa testihenkilö
oli jo lähes pysähtynyt ja suoritti käännöksen siten, että ilmaan noussut jalka
laskeutui lähes samalle paikalle, mutta esimerkiksi 90° kääntyen ja toinen jalka
siirtyi ensimmäisen jalan vierelle, ei laskettu askeleeksi. Mikäli käännettävä jal-
ka kuitenkin selvästi laskeutui eri paikalle, laskettiin se askeleeksi.

6.2 Kiihtyvyydata

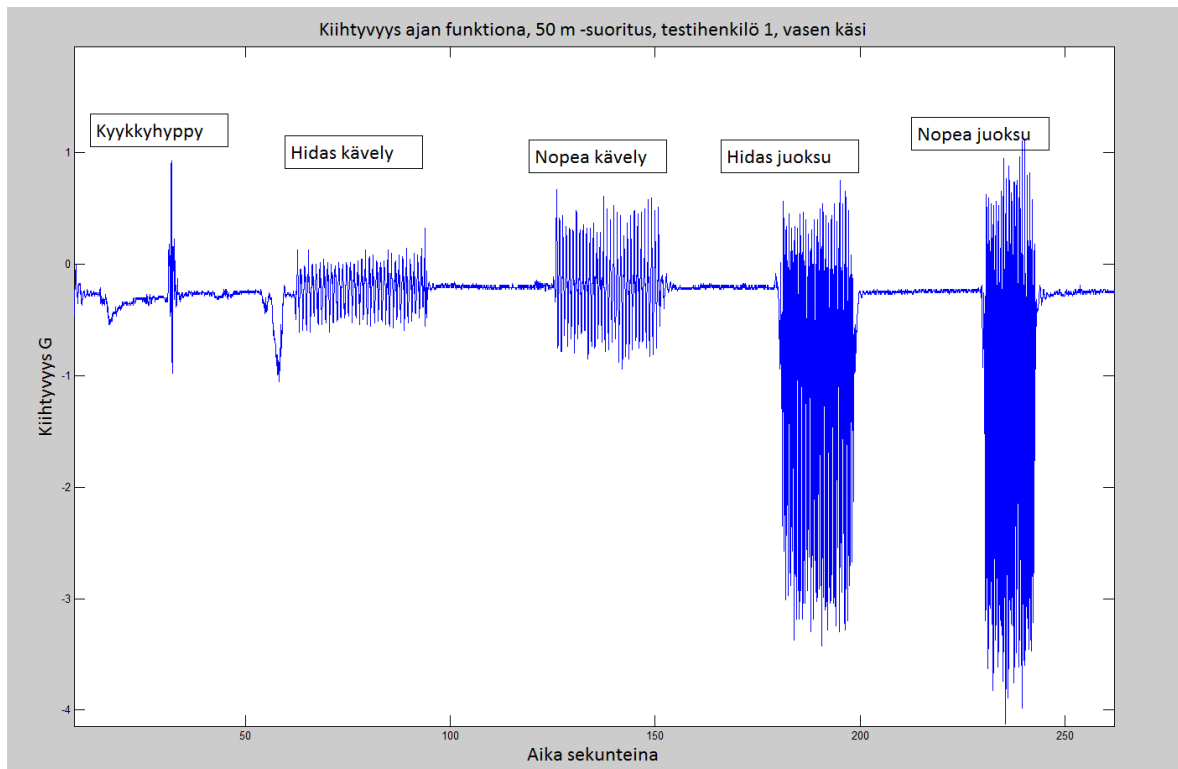
Kuvassa 8 on esitetty testihenkilön 2 koko testin raakakiihtyvyydata. Kuvassa
8 on selkeyden vuoksi esitetty vain yhden kanavan kiihtyvyydata. Testien alus-
sa suoritettu kyykkyhyppy on havaittavissa, kun kuvaa suurennetaan (kuva 9).
Kuvassa 8 olevat neljä ensimmäistä piikkiä ovat 50 m:n suoritukset (merkitty
kuvaan). Neljä seuraavaa selvästi erottuvaa aluetta ovat 100 m:n suoritukset.
Samaa jaksollisuutta on myös havaittavissa 200 m:n suorituksessa. Viimeinen
hieman pidempi yhtenäinen alue on testin loppuksi suoritettu 1 km:n tai 2 km:n
mittainen suoritus (tässä 1 km). Mittausprotokollassa (liite 1) määritellyt 30 se-
kunnin ja 1 minuutin mittaiset paikallaan seisomiset eri kävely -ja juoksusuori-

tusten välillä erottuvat selvästi kiihtyvyydatasta. Tauot ovat selvien piikkien välillä olevia datapätkiä.



KUVA 8. Koko testin kanavan 1 kiihtyvyydata ajan funktiona. Testihenkilö 2, oikea käsi.

Kuvassa 9 on esitetty testihenkilön 1 kanavan 1 kiihtyvyydata 50 m:n suorituksesta. Kuvasta 9 on selkeästi erotettavissa alussa tehty kyykkyhyppy sekä kaksi eri kävely- ja juoksusuoritusta, ja ne on myös merkitty kuvaan. Juoksusuorituksen suuremmat kiihtyvyyssarvot eli suuremmat amplitudit johtuvat mm. juoksussa tapahtuvista kehon massapisteen korkeusvaihteluista (ks. luku 3.2). Askel- ja matkalukemat on laskettu vain suoritusten ajalta. Datasta on siis eroteltu jokainen suoritus omaksi datakseen ennen askel- ja matkaestimaatin laskemista.



KUVA 9. Kiihtyvyysdata 50 m:n suorituksesta. Testihenkilö 1, vasemman käden data.

6.3 Askelestimaatti

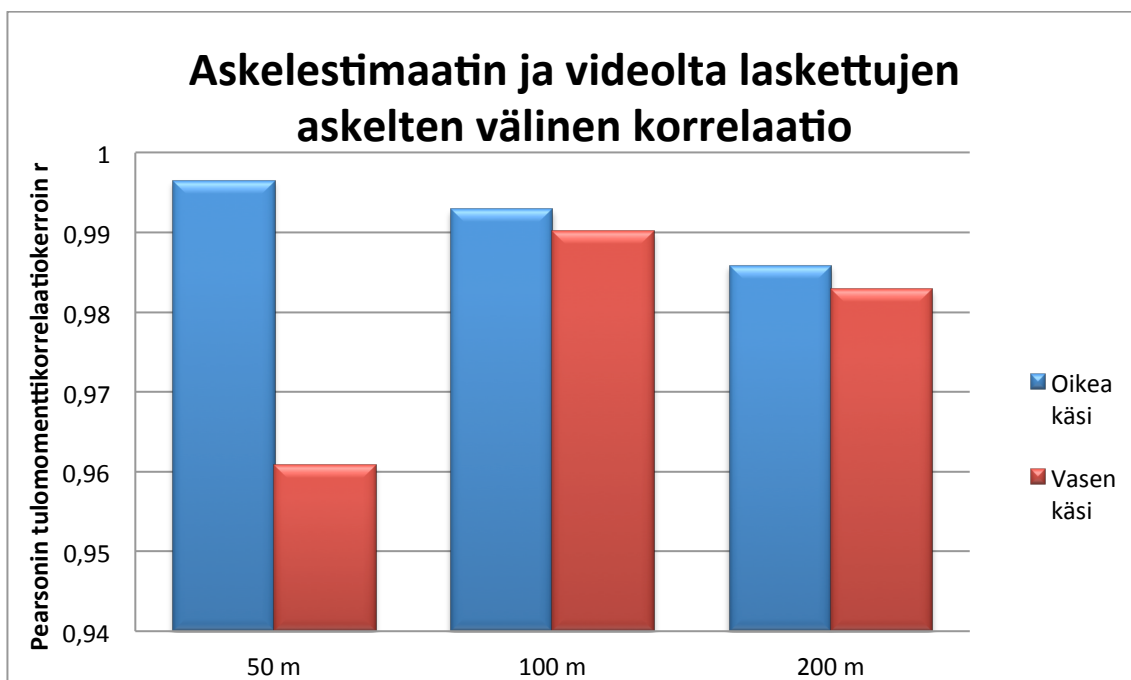
6.3.1 Askelestimaatin ja videolta laskettujen askelten korrelaatio

Rannelaitteen kiihtyvyysdatan perusteella lasketut arvot ovat hyvin lähellä todellisia videolta laskettuja askelarvoja. Taulukossa 3 on eriteltynä testihenkilön 1 mitatut askelmäärät.

TAULUKKO 3. Askelmäärät. Testihenkilö 1.

Suoritus	Askeleet videolta	S3+juoksusensori	Vasen rannelaite	Oikea rannelaite
50 m, Hidas kävely	68	66	67	71
50 m, Nopea kävely	61	56	65	61
50 m, Hidas juoksu	53	53	47	53
50 m, Nopea juoksu	41	40	39	41
100 m, Hidas kävely	131	129	131	131
100 m, Nopea kävely	121	120	117	117
100 m, Hidas juoksu	107	108	97	109
100 m, Nopea juoksu	83	79	77	83
200 m, Hidas kävely	272	272	254	256
200 m, Nopea kävely	246	243	214	246
200 m, Hidas juoksu	224	222	204	226
200 m, Nopea juoksu	177	169	163	179
2 km, Juoksu/kävely		2033	1826	1882

Kuvissa 10–14 on esitetty videolta laskettujen askelten ja rannelaitteiden avulla mitattujen askelten välinen korrelaatio. Kuvassa 10 on laskettu kaikkien 50 m:n, 100 m:n ja 200 m:n matkan suorituskorrelaatio ja molempien käsien osalta erikseen. Siniset pylväät kuvaavat oikean käden ja videolta laskettujen askelten välistä korrelaatiota ja punaiset pylväät vasemman käden vastaavaa korrelaatiota. Kaikkien suorituskorrelaatiokertoimet ovat välillä $0,96 < r < 0,996$. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rannelaitteiden antamat lukemat korreloivat todellisten askelten lukumäärän kanssa lähes täydellisesti.



KUVA 10. Askelestimaatin ja videolta laskettujen askelten välinen korrelaatio.

Testihenkilö 1.

Taulukossa 4 on esitetty testihenkilön 1 suorituksen askelten keskihajonnat ja niiden prosentuaalinen osuus. Taulukosta voidaan nähdä, että keskihajonta kasvaa kuljetun matkan pidentyessä. Prosentuaalista keskihajontaa tarkastellessa huomataan, että keskihajonnan suhteellinen osuus ei kuitenkaan selkeän lineaarisesti kasva matkan pidentessä.

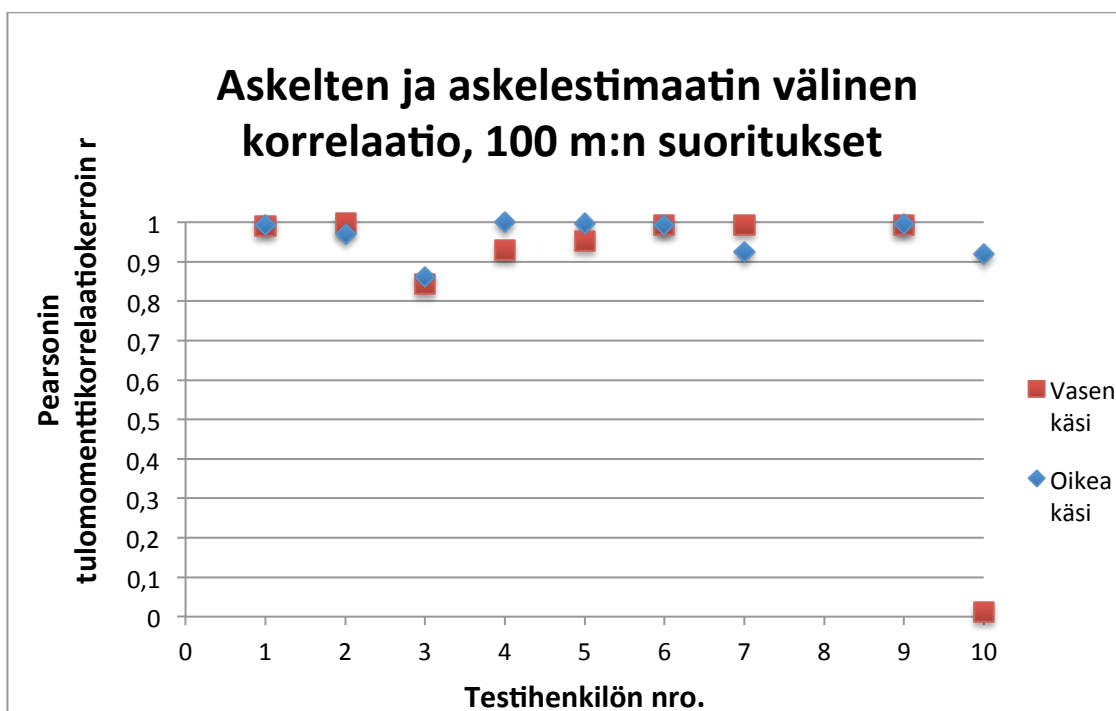
TAULUKKO 4. Askelmäärien keskihajonnat. Testihenkilö 1.

Suoritus	Askelten keskihajonta	Keskihajonta %
50 m, Hidas kävely	2,2	3,3
50 m, Nopea kävely	3,7	6,2
50 m, Hidas juoksu	3,0	5,8
50 m, Nopea juoksu	1,0	2,6
100 m, Hidas kävely	0,8	0,7
100 m, Nopea kävely	2,0	1,7
100 m, Hidas juoksu	5,6	5,3
100 m, Nopea juoksu	3,0	3,7
200 m, Hidas kävely	10,0	3,8
200 m, Nopea kävely	15,5	6,5
200 m, Hidas juoksu	10,1	4,6
200 m, Nopea juoksu	7,4	4,3

Kuvissa 11–14 on esitetty kaikkien testihenkilöiden askelmäärien korrelaatio videolta laskettuihin askelmääriin. Testihenkilön 8 vasemman käden mittari sammui heti testin alussa ja lisäksi kaikki 200 m:n suoritukset jäivät videoimatta kameran akun loppumisen vuoksi. Tämän vuoksi testihenkilön 8 data on jätetty pois useimmista kuvista ja laskelmista. Kuvista 11–14 nähdään, että askelestin antamat lukemat vastaavat erittäin hyvin todellisia videolta laskettuja arvoja. Poikkeuksena on kuitenkin testihenkilö 10. Testihenkilön 10 vasemman käden keskihajonta 50 m:n matkalla on $\pm 8,7$ askelta ja oikean käden $\pm 3,8$ askelta. Testihenkilön 10 askelten hajonta on huomattavasti suurempaa kuin muilla testihenkilöillä. Datasta voidaan kuitenkin huomata, että suurimmat heitot askelarvoissa tapahtuvat 50 m:n matkalla sekä nopeassa, että hitaassa juoksussa ja 100 m:n (kuva 12) sekä 200 m:n (kuva 13) matkoilla suurimmat virheet havaitaan hitaalla juoksuvauhdilla. Videotarkastelun jälkeen mahdolliseksi virhelähteeksi 100 m:n matkalla havaittiin juoksutyyli, jossa käsien liikeradat ovat kohtalaisen pienet. Lisäksi vasemman käden liikerata oli hieman pidempi kuin oikean. Testihenkilön vasenkätisyys voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Testihenkilön 10 virheet on nähtävissä kuvissa 11–14.

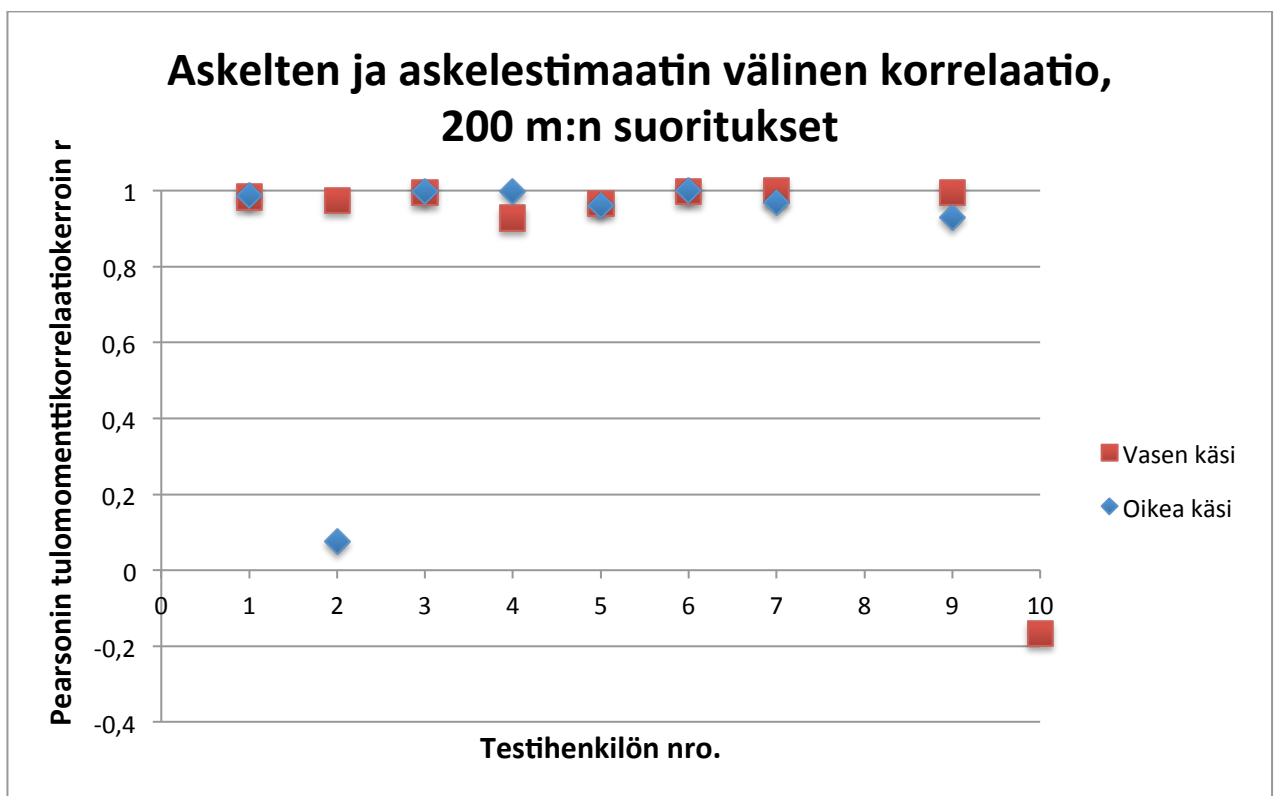


KUVA 11. Videolta laskettujen askelten ja askelestimaatin korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10, 50 m:n suoritus.



KUVA 12. Laskettujen askelten ja askelestimaatin välinen korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10, 100 m:n suoritus.

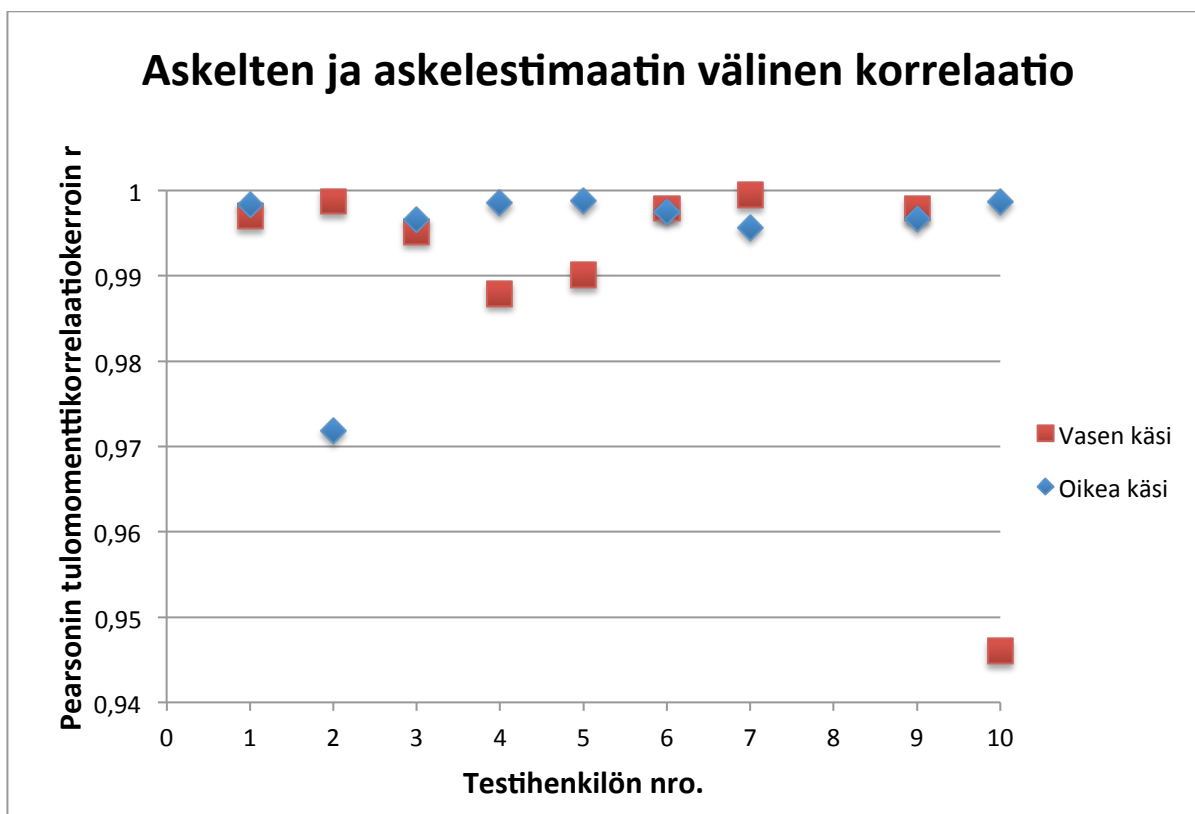
Kuvassa 13 on esitetty askelarvojen korrelaatio 200 m:n matkalta. Kuvassa 13 testihenkilön 2 oikean käden arvot poikkeavat selvästi muista arvoista. Kyseinen pieni korrelaatiokerroin aiheutuu hitaalla juoksunopeudella tehdystä suorituksesta. Todellisen askelmäärän ollessa 298 askelta on oikean rannelaitteen antama lukema vain 222 askelta. Oikeassa kädessä olleen rannelaitteen huomattavasti pienemmät lukemat voivat johtua juoksutyylistä, jossa kädet ovat koukussa kehon sivuilla ja niiden liikerata on pieni. Nopeammassa juoksussa askelpituuden kasvaessa myös käsien liikerata kasvaa ja tällöin myös askelestimaatti on tarkempi.



KUVA 13. Laskettujen askelten ja askelestimaatin välinen korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10, 200 m:n suoritus.

Kuvassa 14 esitetty korrelaatio on testihenkilöiden koko testien askelarvojen korrelaatio askelestimaatin arvojen suhteen. Laskennassa testin lopuksi suoritettun 1 km:n tai 2 km:n matkan askelreferenssinä on käytetty s3+-juoksusensoria. Muissa suorituksissa vertailukohtana on videolta lasketut askeleet. Askelmäärien korrelaatio koko testejä tarkasteltaessa on käytännössä hyvin lähellä arvoa

1. Lähes kaikki arvot siis korreloivat referenssiarvoja lähes täydellisesti. Vasemman käden korrelaatioiden keskiarvo on $r = 0,99 \pm 0,02$. Kuvasta 14 on jätetty testihenkilön 8 tulokset pois aiemmin mainittujen syiden vuoksi.



KUVA 14. Laskettujen askelten ja askelestimaatin välinen korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10, koko testi.

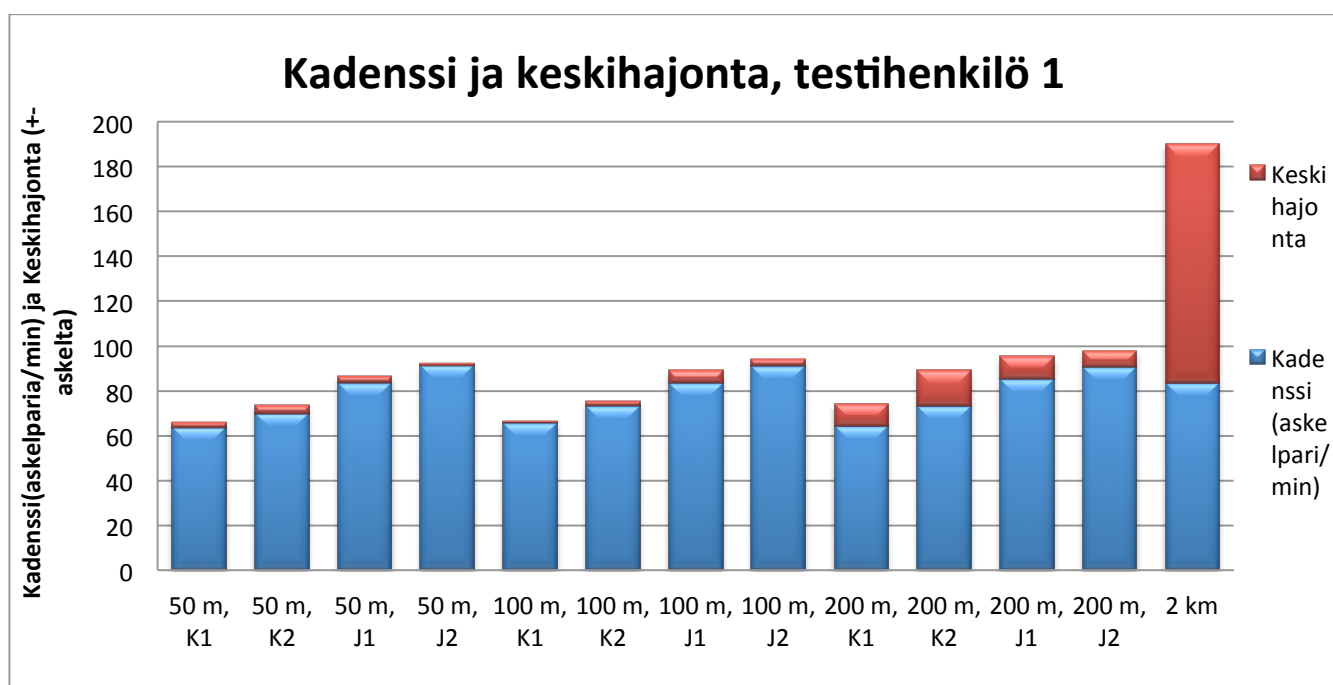
6.3.2 Kadenssin vaikutus korrelaatioon

Askelestimaatin tarkkuutta tutkittaessa on mielekästä tarkastella kadenssin eli askeltiheyden (tässä askelparia/min) vaikutusta estimaatin tarkkuuteen. Kuvissa 15–17 on esitetty kadenssin ja askelmäärien keskihajonnan suhteita. Keskihajonta on laskettu videolta laskettujen askelten ja molempien rannelaitteiden askellukemien pohjalta.

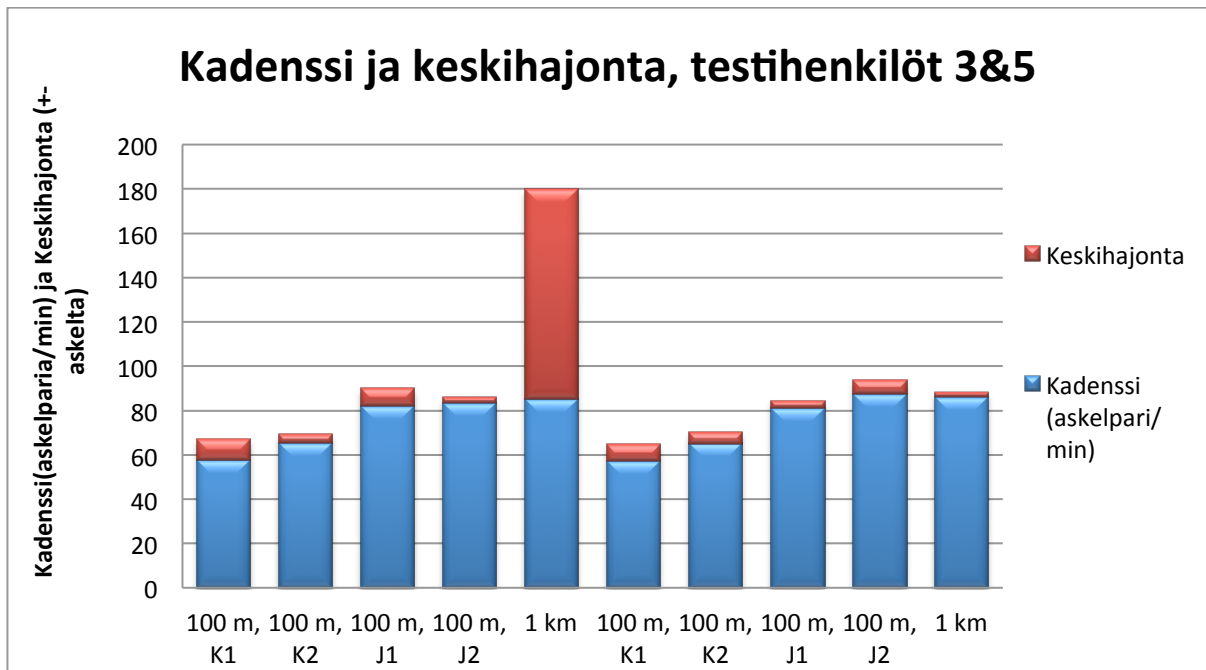
Kuvista 15–17 voidaan nähdä, että kadenssin ja keskihajonnan suhde ei ole täysin lineaarinen. Keskihajonta ei välttämättä kasva kadenssin kasvaessa. Keskihajonnan ja kadenssin suhteessa on suuria henkilökohtaisia eroja. Kuten kuvasta 17 nähdään ovat testihenkilöiden 1 ja 3 keskihajonnat moninkertaiset

testihenkilöiden 4 ja 6 keskihajontoihin verrattuna, vaikka heidän kadenssinsa ovat likimain yhtä suuret viimeisellä 1 tai 2 km:n lenkillä. Testihenkilöt 1, 4 ja 6 kulkivat 2 km:n matkan ja muut kulkivat 1 km:n matkan testin viimeisessä suorituksessa.

Kuvassa 15 on testihenkilön 1 kadenssi ja keskihajonta. Kuvasta voidaan huomata, että keskihajonta kasvaa matkan pidentyessä. Muun muassa 200 m:n suorituksissa keskihajonta on huomattavasti suurempi kuin 100 m:n suorituksissa. Yksi mahdollinen virheen aiheuttaja 200 m:n matkalla on käännökset. Testissä 200 m:n suoritus kuljettiin käyttämällä 4*50 m:n matkaa. Tällöin testihenkilö joutui tekemään kolme 180°:n käännöstä. Käännökset aiheuttavat kävely- ja juoksurytmin muutokset ja saattavat siten aiheuttaa virhettä tuloksiin. Käännösten vaikutuksia mahdollisiin virhearvoihin on analysoitu tarkemmin luvussa 6.5. Kuvissa 15 ja 16 merkintä K1 tarkoittaa hidasta kävelyä, merkintä K2 tarkoittaa nopeaa kävelyä, merkintä J1 tarkoittaa hidasta juoksua ja merkintä J2 tarkoittaa nopeaa juoksua.



KUVA 15. Kadenssi ja keskihajonta. Testihenkilö 1, kaikki matkat.



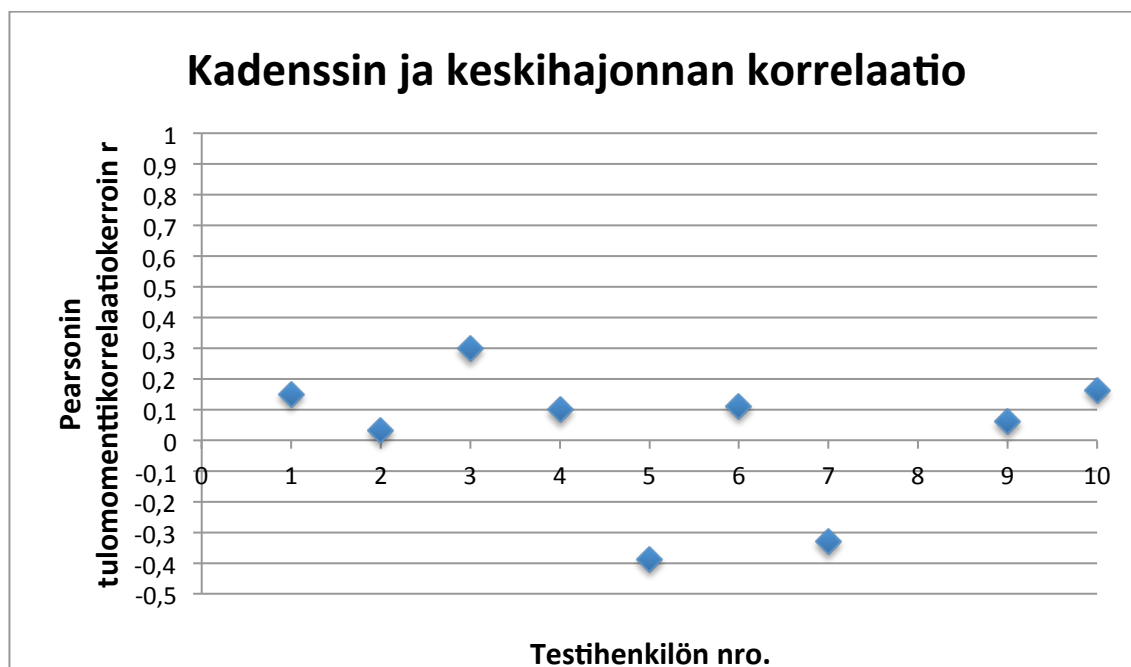
KUVA 16. Kadenssi ja keskihajonta, testihenkilöt 3 & 5, 100 m:n ja 1 km:n suoritukset.



KUVA 17. Kadenssi ja keskihajonta 1 km / 2 km suorituksista. Testihenkilöt 1–10.

Kuvassa 18 on esitetty kadenssin ja keskihajonnan korrelaatio. Korrelaation positiiviset arvot ovat suurimmillaankin vain 0,3 ja 0,2. Käytännössä niiden mer-

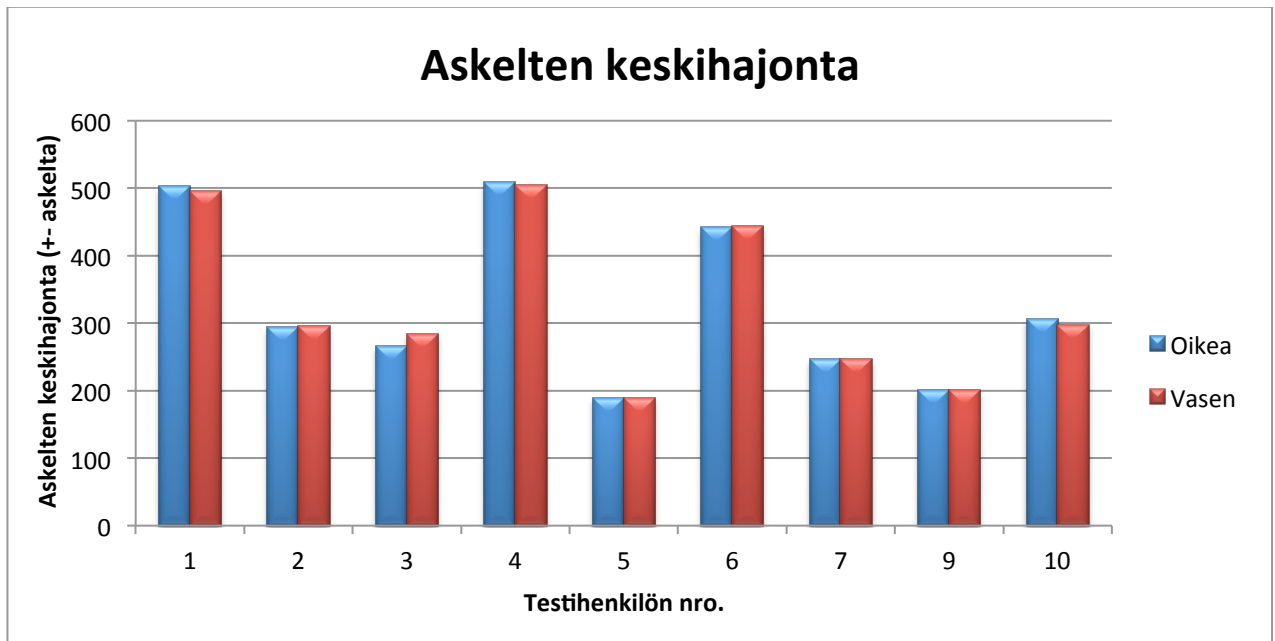
kitsevyys on siis pieni. Negatiivisella puolella pienimmät arvot ovat $-0,45$ ja $-0,4$. Näiden arvojen merkitsevyys on kohtalainen. Kadenssin ja keskihajonnan korrelaatioiden itseisarvojen keskiarvo on $0,21$. Käytännössä tämän korrelaation merkitsevyys on pieni. Voidaankin todeta, että kadenssilla ja keskihajonnalla on lineaarinen yhteys, mutta sen merkitys on hyvin pieni.



KUVA 18. Kadenssin ja keskihajonnan korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10.

6.3.3 Käden vaikutus korrelaatioon ja keskihajontaan

Testihenkilöiden rannelaitteen ja videolta laskettujen askelten välinen kokonaiskorrelaatio on molemmilla käsillä sama, $r = 0,998$. Korrelaatio laskettiin kaikkien testihenkilöiden (ei testihenkilön 8) kaikkien suoritusten perustella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rannelaitteiden lukemat korreloivat lähes täydellisesti todellisia askelmääriä. Kuvassa 19 on esitetty testihenkilökohtaiset molempien käsien keskihajonnat. Kuvasta 19 nähdään, että askelestimaatin keskihajonnat ovat samaa suurusluokkaa kädestä riippumatta. Käsien välinen kokonaiskorrelaatio on, $r = 0,998$. Mittarin pitokädellä ei siis ole merkittävää vaikutusta tämän testin tuloksiin.



KUVA 19. Askelten keskihajonta. Testihenkilöt 1–7 & 9–10.

6.4 Matkaestimaatti

Kuljetut matkat mitattiin etukäteen tarkalla digitaalisella mittapyörällä. Matkaestimaatin ja mitatun matkan välinen korrelaatio on laskettu Pearsonin tulomomenttikorrelaatiota käyttäen. Taulukossa 5 on esitetty testihenkilön 1 kulkemat matkat ja matkaestimaatit. Taulukosta 5 voidaan huomata, että matkaestimaatit ovat oikeassa suurusluokassa. Taulukon 5 viimeisessä sarakkeessa on silmämääräisesti arvioidut virherajat kjuetuille matkoille. Näitä virherajoja sovelletaan kaikille testihenkilöille. Virherajat ovat esimerkiksi $50 + 0,25$ m, koska videotarkastelun perusteella yksikään testihenkilö ei jättänyt vajaaksi matkaa vaan kulki aina viivalta viivalle. Tällöin voitiin todeta, että kuljettu matka on vähintään 50 metriä.

TAULUKKO 5. Kuljetut matkat ja niiden keskihajonta. Testihenkilö 1.

Kuljettu matka (m)	Matka, vasen käsi (m)	Matka, oikea käsi (m)	Keskihajonta	Arvioitu virheraja (+ m)
50 m, Hidas kävely	51,2	58,5	4,6	0,25
50 m, Nopea kävely	55,2	54,2	2,8	0,25
50 m, Hidas juoksu	45,6	49,3	2,4	0,5
50 m, Nopea juoksu	51,8	51,7	1,0	0,5
100 m, Hidas kävely	113,0	113,0	7,5	0,5
100 m, Nopea kävely	99,7	108,5	5,0	0,5
100 m, Hidas juoksu	96,8	113,2	8,7	1,0
100 m, Nopea juoksu	93,9	112,5	9,5	1,0
200 m, Hidas kävely	211,3	215,0	7,8	1,0
200 m, Nopea kävely	174,3	234,5	30,2	1,0
200 m, Hidas juoksu	195,5	248,0	29,1	1,5
200 m, Nopea juoksu	170,0	220,3	25,3	1,5
2000 m	1912,4	2042,3	66,2	5,0

Kuvassa 20 on esitetty mitattujen matkojen ja testihenkilöiden kulkemien matkojen välinen korrelaatio. Kuvassa on testihenkilöiden 1–7 ja 9–10 korrelaatiot.

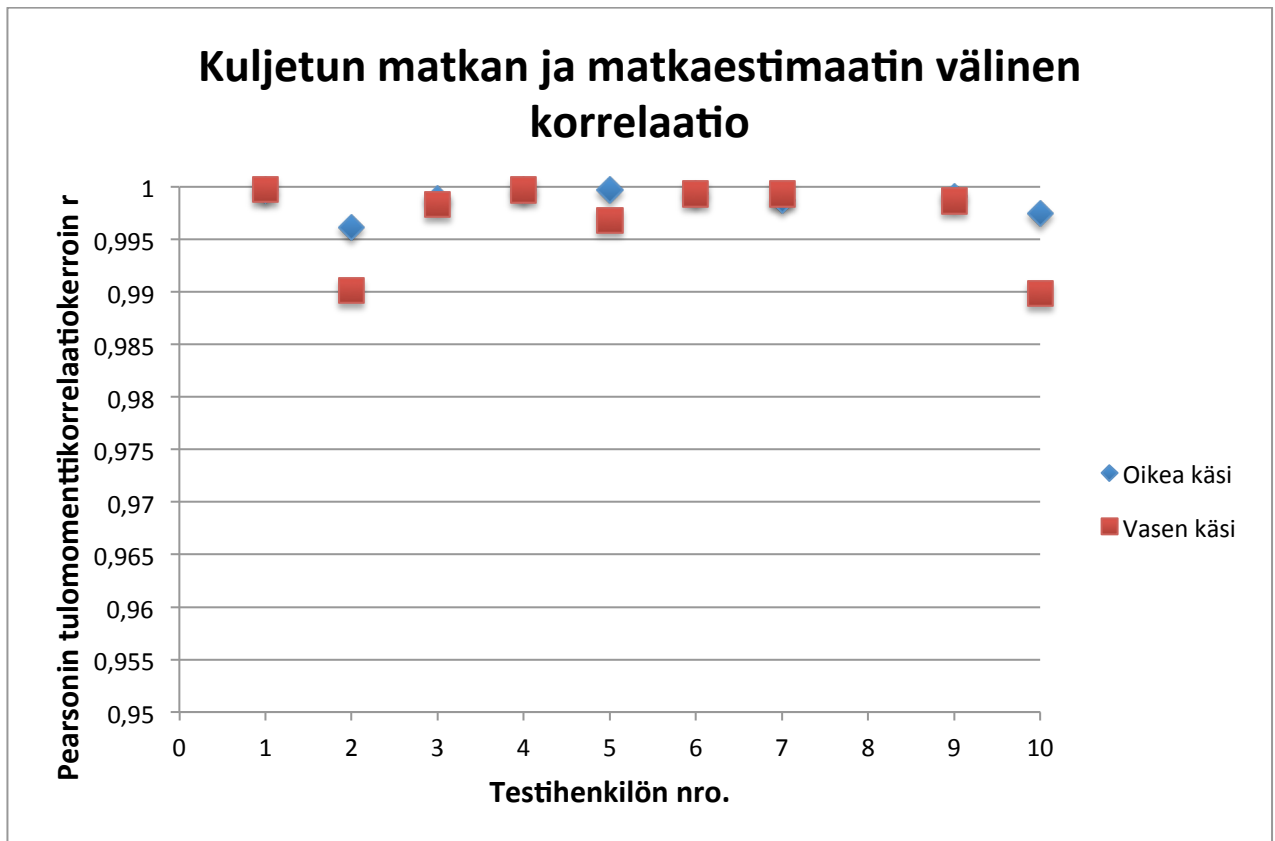
Kaikki kuvatut korrelaatiot ovat välillä $0,985 < r < 1$. Käytännössä tämä tarkoittaa, että matkaestimaatit korreloivat lähes täydellisesti ennalta mitattua matkoja.

Vasemman käden ja matkaestimaatin kokonaiskorrelaatioksi saatiin $r =$

$0,997 \pm 1,8 * 10^{-5}$. Oikean käden kokonaiskorrelaatioksi saatiin $r = 0,999 \pm$

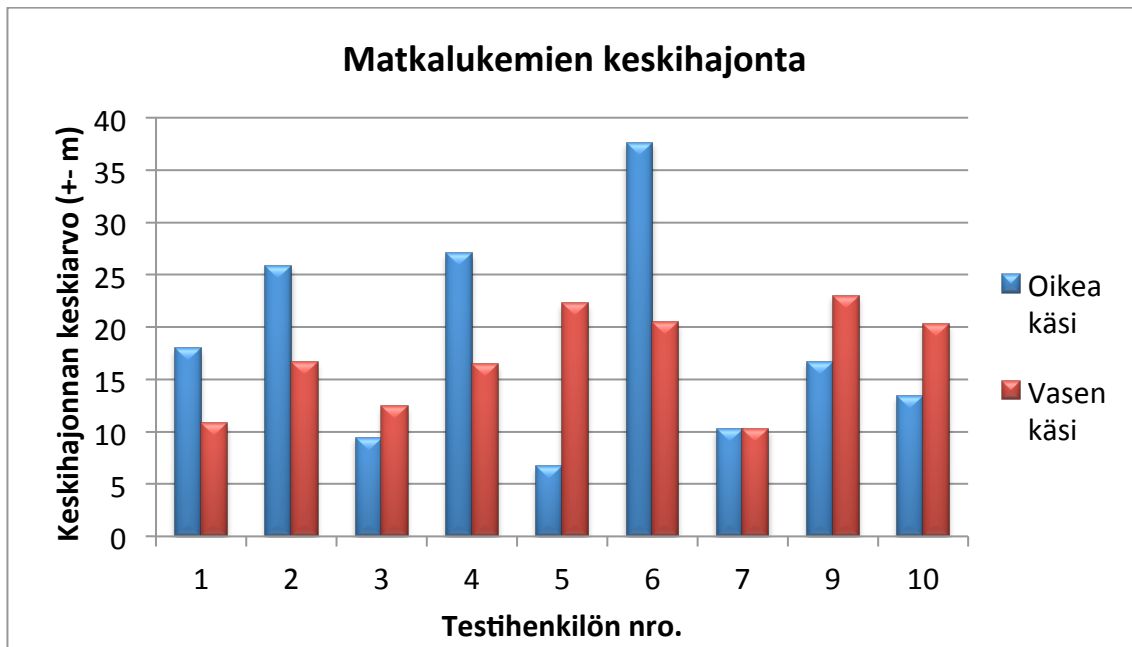
$1,2 * 10^{-5}$. Matkaestimaatin ja kuljetun matkan kokonaiskorrelaatioksi saatiin

$r = 0,998 \pm 1,5 * 10^{-5}$.



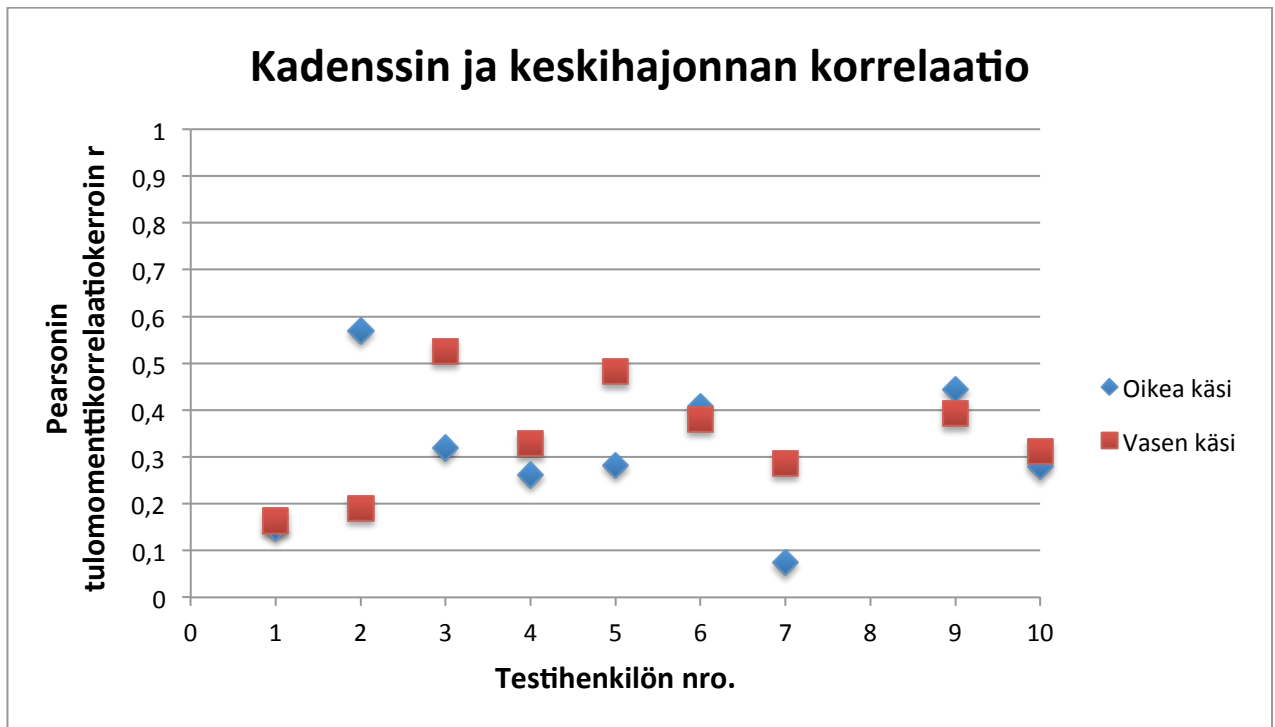
KUVA 20. Kuljetun matkan ja matkaestimaatin välinen korrelaatio. Testihenkilöt 1–7 & 9–10.

Matkaestimaatit korreloivat hyvin todellisia testihenkilöiden kulkemia matkoja. Kuvassa 21 on esitetty testihenkilökohtaiset keskihajonnat. Kuvassa 21 keskihajonnat on laskettu testihenkilön kaikkien suoritusten datasta. Vasemman käden suoritusten kokonaiskeskihajonnaksi saatiin $16,9 \pm 0,31$ m. Oikean käden kokonaiskeskihajonnaksi saatiin $18,3 \pm 0,33$ m. Suurin yksittäinen keskihajonnan aiheuttaja on testien loppuksi suoritettu 1 km:n tai 2 km:n vapaatahtinen suoritus. Kolmen ensimmäisien matkojen (50 m, 100 m, 200 m) keskihajonnat ovat huomattavasti pienemmät (vasemman käden kokonaiskeskihajonta ilman viimeistä suoritusta $9,6 \pm 0,18$ m, oikean käden kokonaiskeskihajonta ilman viimeistä suoritusta on myös $9,6 \pm 0,23$ m). Kuvassa 21 testihenkilön 6 vasemman käden keskihajonnan piikki selittyy suurimmaksi osaksi viimeisellä 2 km:n suorituksella, jossa matkan keskihajonta on yli 170 m.



KUVA 21. Matkalukemien keskihajonta. Testihenkilöt 1-7 ja 9-10, kaikki kuljetut matkat.

Kadenssin ja keskihajonnan korrelaatiot liikkuvat välillä $0,07 < r < 0,6$. Kuvasta 22 voidaan päätellä, että kadenssin (askelparia/min) ja matkaestimaatin keskihajonnan välillä on paikoitellen lineaarista riippuvuutta. Testihenkilökohtaisia eroja riippuvuudessa on kuitenkin havaittavissa. Esimerkiksi testihenkilön 1 molempien käsien korrelaatiot ($r < 0,2$) ovat käytännön merkitykseltään todella pieniä, lähes olemattomia. Testihenkilön 1 kohdalla ei siis käytännössä voida puhua keskihajonnan ja kadenssin riippuvuudesta. Testihenkilöiden 6 ja 9 korrelaatiot ovat $0,38 < r < 0,44$. Merkitykseltään tämän suuruinen korrelaatio on kohtalainen. Kadenssi siis vaikuttaa keskihajonnan suuruuteen, mutta suurimmillaankin sen merkitys on vain kohtalainen ja pienimmillään sen merkitys on lähes olematon.



KUVA 22. Kadenssin ja keskihajonnan korrelaatio

6.5 Virhelähteiden tunnistus

Virhelähteiden tunnistamista varten valittiin kahden koehenkilön mittausdata tarkempaan analyysiin. Virheanalyysissä keskitytään lähinnä askelarvojen virheiden analysoimiseen kiihtyvyydatasta. Virhelähteitä pyrittiin tunnistamaan tutkimalla kerättyä raakadataa ja vertaamalla sitä suodatettuun dataan sekä videoihin. Valitut testihenkilöt olivat 7 ja 10. Testihenkilö 7 valittiin, koska hänen suorituksesta oli ns. esimerkkisuoritus, ja testihenkilö 10 valittiin, koska hänen askelarvoissaan on hieman enemmän heittoa ja lisäksi hän on vasenkätinen. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty virheen analysointiin valittujen henkilöiden askelmäärät.

TAULUKKO 6. Testihenkilön 7 askeleet

Suoritus	Askeleet videolta	Askeleet vasen rannelaite	Askeleet oikea rannelaite
50 m, Hidas kävely	72	73	73
50 m, Nopea kävely	57	61	57
50 m, Hidas juoksu	47	47	47
50 m, Nopea juoksu	35	37	35
100 m, Hidas kävely	132	138	109
100 m, Nopea kävely	107	113	107
100 m, Hidas juoksu	96	95	95
100 m, Nopea juoksu	71	75	71
200 m, Hidas kävely	268	275	273
200 m, Nopea kävely	221	228	222
200 m, Hidas juoksu	202	204	204
200 m, Nopea juoksu	149	149	143

TAULUKKO 7. Testihenkilön 10 askeleet

Suoritus	Askeleet videolta	Askeleet vasen rannelaite	Askeleet oikea rannelaite
50 m, Hidas kävely	63	69	63
50 m, Nopea kävely	60	63	57
50 m, Hidas juoksu	62	39	61
50 m, Nopea juoksu	53	53	57
100 m, Hidas kävely	128	123	123
100 m, Nopea kävely	125	127	129
100 m, Hidas juoksu	128	73	127
100 m, Nopea juoksu	108	103	109
200 m, Hidas kävely	254	246	242
200 m, Nopea kävely	251	224	250
200 m, Hidas juoksu	257	174	260
200 m, Nopea juoksu	225	218	220

Testihenkilön 7 dataa analysoitaessa huomattiin, että suurin osa pienistä virheistä johtuu käännöksistä, joita testeissä tehtiin. Esimerkiksi 50 m:n matkalla testihenkilö kääntyi tulosuuntaansa pysähdyksen yhteydessä ja 100 m:n sekä 200 m:n suoritukset kuljettiin käyttäen 50 metrin mittaista matkaa. Kävelyosuuksien käännöksissä ja suoritusten päätöskäännöksissä (pätöskäännös = pysäh-

tyessään suorituksen lopussa testihenkilö kääntyy kohti tulonsuuntaansa) useimmat testihenkilöt kääntyivät jalan painonsiirtojen avulla. Painonsiirtojen avulla kääntymisessä jalka nousee maasta ja laskeutuu lähes samalle paikalle takaisin, mutta kääntyneenä. Tällaisissa tilanteissa testihenkilön käsi useimmiten heilahti samankaltaisesti kuin varsinaisessa askeleessa. Kyseisessä tilanteessa tulkitaan käden liikkeen tapahtuneeksi, mutta lopullinen askelmäärä voi silti olla väärä, koska jalan liikettä ei voitu tulkita askeleeksi. Suuremmilla nopeuksilla (nopeat juoksut) virhettä aiheutui testihenkilön jarruttaessa käännöstä varten. Joissakin tapauksissa jarruttaessa testihenkilön käsien liike loppui vaikka hän ottikin askelia ennen pysähtymistään. Analyysin perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että pienet epätarkkuudet askelarvoissa (1–6 askelta) johtuvat pääsääntöisesti käännöksissä tapahtuneista virheistä.

Suuremmat virheet kuten esimerkiksi 100 m:n ja 200 m:n hitaat juoksut testihenkilöllä 10 sisältävät vasemman käden askelmäärässä paljon virhettä. 100 m:n hitaassa juoksussa testihenkilön 10 vasemman käden arvot poikkeavat todellisista askelmääristä jopa –55 askelta, kun oikea käden askeleet poikkeavat vain yhden askeleen. 200 m:n hitaassa juoksussa vastaavat luvut ovat vasemmassa kädessä –84 askelta ja oikeassa +3 askelta. Aikatasossa dataa tarkastellessa ei selvää virhettä ole huomattavissa. Suodatetun datan amplitudien keskiarvot ovat oikean ja vasemman käden välillä lähestulkoon yhtä suuret.

Vasemman käden huomattavasti poikkeaville askelarvoille löydettiin mahdollinen selitys tarkasteltaessa signaalia taajuustasossa. Esimerkiksi 200 m:n hitaassa juoksusuorituksessa virhe voi johtua suodatuksesta, jonka vuoksi yhden kanavan datan suurin värähtely n. 2,6 Hz:n taajuudella suodattuu pois. Samaa ilmiötä ei muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ole nähtävissä niissä datoisissa, joissa askelmäärät osuvat lähestulkoon kohdalleen. Vastaavaa nähdään 100 m:n hitaan juoksun datassa. Taajuustason analyysiä tehtäessä huomattiin myös juoksun ja kävelyn ero. Kävelyssä yhdellä kanavalla tapahtuvan liikkeen taajuus oli noin 1,0–1,5 Hz testihenkilöstä riippuen (testihenkilöllä 10 ensimmäinen piikki oli 1,08 Hz). Juostessa ensimmäinen piikki koostuu eri kanavan datasta, kuin kävelyssä. Vaihdettaessa kävelystä juoksuksi kaksi ensimmäistä piikkiä vaihtavat paikkaa, kuitenkin niin, että taajuudet kasvavat hieman.

Taajuuksien ero on havaittavissa myös aikatasossa, erityisesti suodatuksen jälkeen. Mikäli eri kanavien datat ovat eri vaiheessa ja mahdollisesti eri taajuuksilla voi yhdistetyssä datassa ilmaantua kaksiaaraisia piikkejä. Kaksiaaraisuus voi aiheuttaa virhettä arvoihin, mikäli se on riittävän suurta.

7 POHDINTA

Työssä tutkittiin askelten ja kuljetun matkan määrittämistä käyttäen rannelaitteen kiihtyvyyssanturia. Tutkimuksen tavoitteena oli testata, kuinka tarkkoja kiihtyvyydestä määritetyt estimaatit ovat verrattuna mitattuihin arvoihin kävely- ja juoksusuorituksissa. Tutkimuksessa pyrittiin myös löytämään syyt mahdollisille poikkeaville arvoille. Tutkimuksesta laadittiin suunnitelma, jossa mm. työn pääpiirteet ja aikataulu on käyty läpi. Aineiston kerääminen suoritettiin tutkimussuunnitelman yhteydessä laaditun mittausprotokollan mukaan (liite 1). Mittaukset onnistuivat hyvin ja kerätty aineisto oli käyttökelpoista.

Tutkimuksen tuloksena saatiin selville askel- ja matkaestimaattien todellinen tarkkuus mittaustilanteissa. Tässä työssä tarkkuutta arvioitiin pääasiassa lineaarista riippuvuutta kuvaavan Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen (r) avulla. Korrelaatiot laskettiin muun muassa askelestimaatin ja todellisten videolta laskettujen askelten suhteen ja kuljetun matkan ja matkaestimaatin suhteen. Kaikkien testihenkilöiden (9 henkilöä) askelestimaatin ja todellisten askelten välinen korrelaatio on välillä $0,94 < r < 1$. Askelestimaatti korreloi siis erittäin hyvin videolta laskettuja arvoja. Matkaestimaatin ja kuljetun matkan korrelaatioksi saatiin $r = 0,998 \pm 1,5 * 10^{-5}$. Askelmääriin virhettä aiheuttivat testeissä suoritettut käännökset. Olisikin ollut hyvä järjestää testit esimerkiksi juoksumatolla, jolloin virhettä aiheuttavia käännöksiä ei olisi ollut. Tällöin askelestimaatti olisi todennäköisesti ollut vielä nykyistä tarkempi. Lisäksi juoksumatolla järjestettyjen testien videoiminen ja askelten laskeminen videolta olisi ollut helpompaa. Toisaalta tutkimuksessa haluttiin mitata kävelyä tyypillisellä alustalla.

Estimaattien todellisen tarkkuuden selvittämiseksi olisi aiheellista tutkia, kuinka dynaamisesti ne pystyvät mukautumaan erilaisiin aktiviteetteihin. Aktiviteetit voisi mahdollisesti tunnistaa signaalin taajuudesta ja intensiteetistä. Aineistoa analysoitaessa taajuusspektreistä pystyi silmämääräisesti erottamaan juoksun ja kävelyn. Pitäisi siis olla mahdollista tunnistaa eri aktiviteettejä niiden taajuuden perusteella. Haasteena voi kuitenkin olla sopivan algoritmin sisällyttäminen rannelaitteeseen.

Askelten ja kuljetun matkan määrittäminen kävelyssä ja juoksussa oli mielestäni tarpeeksi haastava aihe opinnäytetyölleni. Aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja sain soveltaa ja kehittää oppimiani taitoja. Suurimman haasteen työhön toi tiukka aikataulu.

LÄHTEET

1. Lahdenperä, Juhani 2011. Askelmäärän mittaaminen ranteessa pidettävän kiihtyvyyssanturin avulla. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/31240>. Hakupäivä 15.5.2014.
2. Lääkkö, Juho 2011. Päivittäisen askelmäärän arviointi kahden viikon mittauksen perusteella. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/34359>. Hakupäivä 15.5.2014.
3. Sandström, Marita – Ahonen, Jarmo 2011. Liikkuva ihminen – aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka. Lahti: VK-Kustannus Oy.
4. Fogelholm, Mikael – Vuori, Ilkka – Vasankari, Tommi 2011. Terveysliikunta. 2., uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
5. Terveysliikuntasuositukset. 2013. UKK-instituutti. Saatavissa: <http://www.ukkinstituutti.fi/ammattilaisille/terveysliikuntasuositukset>. Hakupäivä 10.4.2014.
6. Tulosta suomenkielisiä terveysliikunta-aineistoja. 2013. → Kävelyn portaat. UKK-instituutti. Saatavissa: http://www.ukkinstituutti.fi/ammattilaisille/tyokaluja_liikuntaneuvontaan/tulosta_suomenkieliset. Hakupäivä 24.4.2014.
7. Ahonen, Jarmo – Sandström, Marita – Laukkanen, Raija – Haapalainen, Jouni – Immonen, Seppo – Jansson, Laura – Fogelholm, Mikael. 1998. Alaraajojen rakenne, toiminta ja kävelykoulu. Jyväskylä: VK-kustannus Oy.
8. Vaughan, Christofer L – Davis, Brian L – O'Connor, Jeremy C. 1992. Dynamics of human gait. Cape Town: Kiboho Publishers.
9. Perry, Jacquelin. 1992. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. Thorofare: SLACK Incorporated.

10. Guillaume, Thüer – Verwimp, Tim 2009. Step Detection Algorithms for Accelerometers. Artesis University College of Antwerp. Saatavissa: http://nitarc.be/map/paper/AMBIT_ThuerVerwimp.pdf. Hakupäivä 13.5.2014.
11. Ying, H. – Silex, C. – Schnitzer, A. – Leonhardt, S. – Schiek, M. Automatic Step Detection in the Accelerometer Signal. Central Institute for Electronics, Research Center Jülich, Germany. Saatavissa : <http://nitarc.be/map/bachelor/Olaf/Sources/Projectcode%20Filters/Papers/Automatic%20Step%20Detection%20in%20the%20Accelerometer%20Signal.pdf>. Hakupäivä 13.5.2014.
12. Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka. 2003. Momentti 1, Insinöörifysiikka. Toinen painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
13. Kervinen, Juha-Pekka. 2006. Kiihtyvyysanturi menee arjen vimpaimiin. Tekniikka&Talous. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/kiihtyvyysanturi+menee+arjen+vimpaimiin/a143330>. Hakupäivä 2.4.2014.
14. Fonselius, Jaakko – Laitinen, Esko – Pekkola, Kari – Sampo, Arto – Välimaa, Taisto. 1994. Anturit. 3., korjattu painos. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
15. Vainio, Timo 2012. T232003 Anturitekniikka 3 op. Opintojakson luentomateriaalit. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
16. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani. 2010. Tekniikan kaavasto: Matematiikka, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. 9. painos. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.
17. Wilson, Jon S. 2005. Sensor Technology Handbook. Elsevier Inc.
18. Blake, Andrew – Winstanley, Graham – Wilkinson, William 2009. Deriving Displacement from 3-Axis Accelerometers. University of Brighton. Saatavissa:

- <http://www.cem.brighton.ac.uk/research/cig/papers/Displacement%20from%20Accelerometer.pdf>. Hakupäivä 13.5.2014.
19. Korrelaatio ja riippuvuusluvut. 2004. KvantiMOTV. Saatavissa: <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>. Hakupäivä 12.4.2014.
20. Tilastollisia menetelmiä; Keskihajonta. Opetushallitus. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/haj_5.html. Hakupäivä: 13.4.2014.
21. Polar RS800CX. 2014. Polar Electro Oy. Saatavissa: http://www.polar.com/fi/tuotteet/paranna_suorituskykyasi/juoksu_multisport/rs800cx. Hakupäivä 31.3.2014.
22. Polar S3+ -juoksusensori. 2014. Polar Electro Oy. Saatavissa: http://www.polar.com/fi/tuotteet/lisatarvikkeet/polar_s3_juoksusensori. Hakupäivä 31.3.2014.
23. DigiRoller Plus 2. 2014. Calculated Industries. Saatavissa: <http://www.calculated.com/prd31/DigiRoller-Plus-II-Digital-Measuring-Wheel.html#UzqlGNyQnpc>. Hakupäivä 1.4.2014.

LIITTEET

Liite 1 Mittausprotokolla

Liite 2 Mittauspöytäkirja

1. Testihenkilö saapuu mittauspaikalle
2. Testin kulku kerrataan testihenkilölle
3. Mittauspöytäkirjaan kirjataan testihenkilön tiedot
 - a. henkilön numero
 - b. syntymäaika
 - c. pituus
 - d. paino
 - e. sukupuoli
 - f. kätisyys
4. Testihenkilö pukee mittalaitteet
 - a. Kiihtyvyyssmittarit molempiin käsiin
 - b. Sykemittari, sykevyö ja sykellähetin
 - c. S3+ -juoksusensori vasempaan kenkään
 - d. GPS/Kiihtyvyys -sensori lantiolle, lähetin oikealle puolelle
5. Videokamera käynnistetään
6. Testihenkilön numero näytetään kameralle
7. Sykemittarin harjoitus käynnistetään
8. Kiihtyvyyssmittarit käynnistetään kun sykemittarin harjoitusta on kulunut 30 s.
9. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
10. Testihenkilö kävelee 50 m matkan rauhallisella nopeudella
11. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
12. Testihenkilö kävelee 50 m matkan reippaalla vauhdilla
13. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
14. Testihenkilö juoksee 50 m rauhallisella nopeudella
15. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
16. Testihenkilö juoksee 50 m reippaalla vauhdilla
17. Testihenkilö seisoo paikallaan 1 min
18. Testihenkilö kävelee 100 m matkan rauhallisella nopeudella
19. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
20. Testihenkilö kävelee 100 m matkan reippaalla vauhdilla
21. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
22. Testihenkilö juoksee 100 m rauhallisella nopeudella
23. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
24. Testihenkilö juoksee 100 m reippaalla vauhdilla
25. Testihenkilö seisoo paikallaan 1 min.
26. Testihenkilö kävelee 200 m matkan rauhallisella nopeudella
27. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
28. Testihenkilö kävelee 200 m matkan reippaalla vauhdilla
29. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
30. Testihenkilö juoksee 200 m rauhallisella nopeudella
31. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.
32. Testihenkilö juoksee 200 m reippaalla vauhdilla
33. Testihenkilö seisoo paikallaan 1 min.
34. Videokamera pysäytetään
35. Testihenkilö juoksee/kävelee 10 min vapaaseen tahtiin.
36. Testihenkilö seisoo paikallaan 30 s.

- 37. Mittarit pysäytetään
- 38. Mittarit otetaan pois testihenkilöltä
- 39. Kiitetään testihenkilöä
- 40. Tallennetaan mitatut tulokset tietokoneelle

Askel- ja matkaestimaatin testaus

Mittauspöytäkirja

Päivämäärä:	27.3.2014	
Henkilön numero:	4	(1-10)
Syntymäaika:	xx.xx.xxxx	dd.mm.yyyy
Sukupuoli:	Mies	nainen / mies
Pituus:	171	cm
Paino	62	kg
Kätisyys:	oikea	vasen/oikea
Muuta huomioita- vaa:		

Kävely 1 = normaali rauhallinen kävely

Kävely 2 = reipas kävely

Juoksu 1 = rento rauhallinen juoksu

Juoksu 2 = reipas/nopeahko juoksu

Rannelaiteiden oletettu käynnistysaika on 30 s.

			Muutaa huomioita- vaa	
Matka		Alkuaika	Loppuaika	
Rannelaitteet käyn- tiin:		0:30		
50 m	Kävely 1	1:00	1:26	
	Kävely 2	1:56	2:20	
	Juoksu 1	2:50	3:10	
	Juoksu 2	3:40	3:52	
100 m	Kävely 1	4:22	5:17	
	Kävely 2	5:47	6:32	
	Juoksu 1	7:02	7:38	
	Juoksu 2	8:08	8:31	
200 m	Kävely 1	9:31	11:16	
	Kävely 2	11:48	13:22	
	Juoksu 1	13:52	15:00	
	Juoksu 2	15:30	16:17	
2 km	Juoksu/kävely	17:17	28:46:00	